

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**MONITORAMENTO DE PROPRIEDADES DE MADEIRAS DA
AMAZÔNIA SUBMETIDAS AO ATAQUE DE FUNGOS
APODRECEDORES**

DIEGO MARTINS STANGERLIN

**ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE FLORIAN DA COSTA
CO-ORIENTADORA: DR^a TEREZA CRISTINA M. PASTORE**

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD - 022/2012
BRASÍLIA/DF: JUNHO - 2012**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**MONITORAMENTO DE PROPRIEDADES DE MADEIRAS DA
AMAZÔNIA SUBMETIDAS AO ATAQUE DE FUNGOS
APODRECEDORES**

DIEGO MARTINS STANGERLIN

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADA POR:

Alexandre Florian da Costa, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal – UnB). (Orientador)

Joaquim Carlos González, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal – UnB). (Examinador interno)

Ailton Teixeira do Vale, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal – UnB). (Examinador interno)

Márcio Pereira da Rocha, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal – UFPR). (Examinador externo)

Darci Alberto Gatto, Doutor (Departamento de Engenharia Agrícola – UFPel). (Examinador externo)

Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, Doutor (Departamento de Engenharia Florestal – UnB). (Examinador suplente)

BRASÍLIA/DF, 01 DE JUNHO DE 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

STANGERLIN, DIEGO MARTINS

Monitoramento de Propriedades de Madeiras da Amazônia Submetidas ao Ataque de Fungos Apodrecedores [Distrito Federal] 2012.

xxii, 259p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB), Doutor, Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal.

1. Biodeterioração

2. DRIFT-MIR

3. Colorimetria

4. Dureza Rockwell

5. Molhabilidade

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

STANGERLIN, D. M. (2012). Monitoramento de Propriedades de Madeiras da Amazônia Submetidas ao Ataque de Fungos Apodrecedores. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD-022/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 259p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Diego Martins Stangerlin.

TÍTULO: Monitoramento de Propriedades de Madeiras da Amazônia Submetidas ao Ataque de Fungos Apodrecedores.

GRAU: Doutor ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Diego Martins Stangerlin

Avenida dos Ingás, nº 2283, apt. 01, Jardim Maringá 1.

78556-272, Sinop, MT, Brasil.

email: stangerlin@ufmt.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à Universidade de Brasília (UnB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGEFL), pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao Professor Dr. Alexandre Florian da Costa, pela orientação, estímulo, confiança, amizade e principalmente pelos valores, conselhos e ensinamentos transmitidos no decorrer desse trabalho, os quais irei carregar para a construção da minha identidade docente.

À Dr^a. Tereza Cristina Monteiro Pastore, pela co-orientação, amizade e valiosas contribuições ao longo desse estudo.

Ao Engenheiro Florestal Alencar Garlet, Analista Ambiental do Serviço Florestal Brasileiro, pelo fundamental auxílio técnico nos ensaios de biodeterioração, desde a fase de planejamento até a execução.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro desse projeto.

Aos Professores do PPGEFL/UnB, em especial, Ailton Teixeira do Vale, Cláudio Henrique Soares Del Menezzi e Joaquim Carlos Gonzalez, pela convivência agradável e aprendizagem nesse período.

Aos Professores Darci Alberto Gatto e Márcio Pereira da Rocha pela disponibilidade em participarem da banca examinadora, bem como pelas correções/sugestões apresentadas.

Aos amigos de PPGEFL/UnB, pelo auxílio, amizade e convivência, em especial, Rafael Rodolfo de Melo, Raul Silvestre, Júlio César Sobreira Ferreira, Fagno Tavares e Éder Pereira Miguel.

À minha namorada Elisangela Pariz por compartilhar angústias, anseios e esperanças por me fortalecer com seu amor e por incentivar a minha caminhada profissional.

À minha família pelo amor, apoio, confiança, pela compreensão da ausência nos momentos difíceis e por sempre terem me incentivado a continuar e concluir mais essa jornada.

À todos aqueles que contribuíram para a realização desse trabalho. Muito Obrigado!

RESUMO

MONITORAMENTO DE PROPRIEDADES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA SUBMETIDAS AO ATAQUE DE FUNGOS APODRECEDORES

Autor: Diego Martins Stangerlin

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

Co-orientadora: Dr^a. Tereza Crisitina Monteiro Pastore

O objetivo desse estudo foi monitorar as propriedades biológicas, psico-físicas, físicas, químicas e mecânicas de madeiras submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. Para tanto, corpos de prova de três espécies, *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*, foram submetidos a ensaios de apodrecimento acelerado com dois tipos de fungos, podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) e podridão branca (*Trametes versicolor*), durante 20 semanas, ao empregar metodologia adaptada da ASTM D 2017. A propriedade biológica foi monitorada por meio da determinação de perda de massa, método convencional. As técnicas não destrutivas de colorimetria e DRIFT-MIR foram empregadas no monitoramento dos parâmetros colorimétricos (psico-físicos), de acordo com o sistema CIELab, e químicos, mediante avaliação de diferentes intensidades de bandas relacionadas aos grupos funcionais dos polissacarídeos e lignina, respectivamente. A propriedade física da molhabilidade foi caracterizada com auxílio de goniômetro, por meio do qual foram medidos os ângulos de contato da gota d'água (técnica da gota séssil). E por fim, avaliou-se a perda de resistência mecânica por meio de metodologia destrutiva ao empregar o durômetro de Rockwell. Dentre os resultados expostos e discutidos pode-se destacar que: A madeira de *Dipteryx odorata* apresentou maior resistência natural, quando comparada a *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha*. Em relação aos fungos apodrecedores, *Gloeophyllum trabeum* proporcionou maiores alterações nas propriedades tecnológicas das madeiras avaliadas. O período de 8 a 12 semanas, de acordo com ASTM D 2017, não foi suficiente para caracterização da resistência natural, por meio da perda de massa. O período de tempo necessário para caracterização da resistência natural ao fungo *Trametes versicolor* foi de 20, 14 e 12 semanas, enquanto que para *Gloeophyllum trabeum* foi de 20, 18 e 14 semanas para as madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*, respectivamente. O ensaio de dureza Rockwell apresentou viabilidade para ser empregado como ferramenta complementar ou principal na caracterização da deterioração da madeira por fungos apodrecedores, sendo sensível na predição dos estágios iniciais. Dentre os parâmetros colorimétricos, os principais estimadores da resistência natural aos fungos de podridão branca e parda foram a coordenada b^* e a claridade (L^*), respectivamente. Por meio do DRIFT-MIR verificou-se que o ataque do fungo *Trametes versicolor* proporcionou redução, de modo indistinto, na intensidade das bandas intrínsecas aos polissacarídeos e a lignina, exceto para a madeira de *Cariniana micrantha*. Para o fungo *Gloeophyllum trabeum*, apesar das intensidades de algumas bandas relacionadas a lignina serem decrescidas, a principal característica foi a redução da intensidade das bandas relacionadas aos polissacarídeos. Com relação a técnica da gota séssil, apesar do alto desvio padrão do ângulo de contato, as amostras apodrecidas apresentaram tendência de redução do espalhamento da gota d'água, proporcionando menor molhabilidade. De modo geral, as técnicas não convencionais de ensaio foram eficientes na diferenciação dos ataques proporcionados pela podridão branca e parda.

Palavras-chave: biodeterioração; DRIFT-MIR; colorimetria; dureza Rockwell; molhabilidade.

ABSTRACT

MONITORING OF PROPERTIES OF WOODS IN THE AMAZON SUBMITTED DECAY FUNGI

Author: Diego Martins Stangerlin

Advisor: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

Co-advisor: Dr^a. Tereza Crisitina Monteiro Pastore

The aim of this study was to evaluate biological, psycho-physical, physical, chemical and mechanical properties of wood submitted to decay fungi. For this purpose, samples of three species, *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* and *Dipteryx odorata*, were submitted for accelerated decay with two types of fungi, brown rot (*Gloeophyllum trabeum*) and white rot (*Trametes versicolor*), for 20 weeks, using the methodology adapted of ASTM D 2017. The biological property was monitored by determining the weight loss, the conventional method. The non-destructive techniques colorimetry and DRIFT-MIR were used in monitoring the colorimetric (psycho-physical) parameters, according to the CIELab system, and chemicals, through evaluation of different intensities of bands related to the functional groups of the polysaccharides and lignin, respectively. The physical property of wetting was characterized with the aid of a goniometer, by means of which were measured drop of water contact angles (sessile drop technique). Finally, we evaluated the mechanical strength loss by destructive methods to use the Rockwell hardness tester. Among the results presented and discussed may be noted that: The wood *Dipteryx odorata* showed a higher natural resistance when compared to *Simarouba amara* and *Cariniana micrantha*. For rot fungi, *Gloeophyllum trabeum* resulted in higher changes in technological properties of wood tested. The period 8-12 weeks, according to ASTM D 2017, was not sufficient for characterization of the natural resistance by mass loss. The time required for the characterization of natural resistance to fungi *Trametes versicolor* was 20, 14 and 12 weeks, while for *Gloeophyllum trabeum* was 20, 18 and 14 weeks for the wood *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* and *Dipteryx odorata*, respectively. The Rockwell hardness test was viable to be used as a complementary or principal tool in the characterization of deterioration of wood by decay fungi, being sensitive in predicting the early stages. Among the colorimetric parameters, the main estimators of natural resistance to white rot fungi and brown were the coordinate b* and lightness (L*), respectively. Through the DRIFT-MIR was found that the fungus attack *Trametes versicolor* provided reduction in a similar way, the intensity of bands intrinsic to polysaccharides and lignin, except for wood *Cariniana micrantha*. To the fungus *Gloeophyllum trabeum*, although some of the intensities of bands related to the lignin being reduced, the main characteristic was the reduction in intensity of the bands related to the polysaccharides. With respect to the sessile drop technique, although high standard deviation of the contact angle, the decayed samples tended to reduce the scattering drop of water, with lower wettability. In general, the test unconventional techniques were able to differentiate the attacks provided by white and brown rot.

Keywords: biodeterioration; DRIFT-MIR; colorimetry; Rockwell hardness; wettability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Principais fungos causadores da podridão branca. Fonte: Adaptado de Rowell (2005).	40
Tabela 4.2 Principais fungos causadores da podridão parda. Fonte: Adaptado de Rowell (2005).	41
Tabela 4.3 Classes de resistência a fungos xilófagos ASTM D 2017.	44
Tabela 4.4 Classes de resistência a fungos xilófagos EN 113.	44
Tabela 4.6 Classificação da variação total da cor (ΔE) de madeiras.	60
Tabela 5.1 Agrupamento das madeiras de três espécies amazônicas em classes distintas de massa específica básica.	72
Tabela 5.2 Delineamento experimental.	75
Tabela 5.3 Bandas de interesse e atribuições químicas dos espectros de MIR.	88
Tabela 6.1 Caracterização química e física das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i>	94
Tabela 6.2 Comparação das médias de perda de massa entre as madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> para ambos os fungos apodrecedores.	96
Tabela 6.3 Correlação entre a perda de massa e o período de exposição das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> aos fungos apodrecedores.	99
Tabela 6.4 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e o período de exposição da madeira de <i>Simarouba amara</i> aos fungos apodrecedores.	108
Tabela 6.5 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e o período de exposição da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> aos fungos apodrecedores.	109
Tabela 6.6 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e o período de exposição da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> aos fungos apodrecedores.	110
Tabela 6.7 Variação total da cor (ΔE) das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> submetidas ao ataque do fungo apodrecedor <i>Trametes versicolor</i>	111
Tabela 6.8 Variação total da cor (ΔE) das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> submetidas ao ataque do fungo apodrecedor <i>Gloeophyllum trabeum</i>	112
Tabela 6.9 Classificação proposta para a variação total da cor (ΔE) de madeiras.	113
Tabela 6.10 Correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e a perda de massa das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> atacadas pelos fungos apodrecedores.	121
Tabela 6.11 Comparação das médias de dureza Rockwell entre as madeiras de <i>Simarouba</i>	

<i>amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> para ambos fungos apodrecedores.	132
Tabela 6.12 Correlação entre a dureza Rockwell e o período de exposição das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> aos fungos apodrecedores.	133
Tabela 6.13 Correlação entre a dureza Rockwell e a perda de massa das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> causada pela exposição aos fungos apodrecedores.	134
Tabela 6.14 Correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e a dureza Rockwell das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> causada pela exposição aos fungos apodrecedores.	139
Tabela 6.15 Alteração dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.	152
Tabela 6.16 Alteração dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.	153
Tabela 6.17 Alteração dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.	154
Tabela 6.18 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> e o período de exposição ao fungo de podridão branca.....	159
Tabela 6.19 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> e o período de exposição ao fungo de podridão parda.	160
Tabela 6.20 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> e o período de exposição ao fungo de podridão branca.....	161
Tabela 6.21 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> e o período de exposição ao fungo de podridão parda.....	162
Tabela 6.22 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> e o período de exposição ao fungo de podridão branca.....	163
Tabela 6.23 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> e o período de exposição ao fungo de podridão parda.....	164
Tabela 6.24 Correlação entre as intensidades relativas ($I_{\text{lignina}}/I_{\text{carboidrato}}$) e o período de exposição das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> aos fungos apodrecedores.....	172
Tabela 6.25 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e a perda de massa das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> causada pela exposição aos fungos apodrecedores.....	182
Tabela 6.26 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e os parâmetros colorimétricos da madeira de <i>Simarouba amara</i> , causada pela exposição aos fungos	

apodrecedores.....	190
Tabela 6.27 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e os parâmetros colorimétricos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> causada pela exposição aos fungos apodrecedores.....	191
Tabela 6.28 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e os parâmetros colorimétricos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> causada pela exposição aos fungos apodrecedores.....	192
Tabela 6.29 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e a dureza Rockwell das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> causada pela exposição aos fungos apodrecedores.....	200
Tabela 6.30. Comparação das médias de variação do ângulo de contato da gota d'água entre as madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> para ambos os fungos apodrecedores.....	211
Tabela 6.31 Correlação entre a variação do ângulo de contato da gota d'água nas madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> e o período de exposição aos fungos apodrecedores.....	212
Tabela 6.32 Correlação entre a variação do ângulo de contato da gota d'água e a perda de massa e dureza Rockwell das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> submetidas ao ataque dos fungos apodrecedores.....	214
Tabela 6.33 Correlação entre a variação do ângulo de contato da gota d'água e as alterações dos parâmetros químicos e colorimétricos das madeiras de <i>Simarouba amara</i> , <i>Cariniana micrantha</i> e <i>Dipteryx odorata</i> expostas aos fungos expostas apodrecedores.....	219

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Estrutura parcial da molécula de celulose. Fonte: Rowell (2005)	28
Figura 4.2 Representação esquemática das ligações de hidrogênio (intermoleculares e intramoleculares) (A) e das zonas de ordenamento (cristalinas e amorfas) (B). Fonte: Adaptado de Rowell (2005); Haygreene; Bowyer (1996).....	29
Figura 4.3 Açúcares encontrados na constituição das polioses. Fonte: Rowell (2005).....	30
Figura 4.4 Percusores primários e os núcleos aromáticos encontrados nas moléculas de lignina. Fonte: Gurgel (2010).	31
Figura 4.5 Molécula de lignina de conífera (A) e folhosa (B).	32
Figura 4.6 Subunidades estruturais presentes nas ligninas. I, II e V= β -aril-éter; III= aquilas; IV= grupos terminais; VI= bifenilas; VII= diaril-éter. Fonte: Marcelo (2007).....	33
Figura 4.7 Representação do modelo de associação entre celulose, polioses e lignina. Fonte: Rowell (2005).....	33
Figura 4.8 Representação esquemática da deterioração enzimática da celulose por meio da ação das celulasas (A) e da lignina por meio da ação da lignina-peroxidase (B): 1= clivagem das ligações C-C; 2= clivagem das ligações C-O-C; 3= clivagem do anel aromático. Fonte: Pala (2007) e Rowell (2005).	37
Figura 4.9 Transmissão da radiação eletromagnética na forma de ondas.	46
Figura 4.10 Espectro eletromagnético na região do infravermelho.....	47
Figura 4.11 Desenho esquemático de um interferômetro de Michelson. Fonte: Adaptado de Wikipedia (2011).	51
Tabela 4.5 Cores do espectro da luz visível. Fonte: Adaptado de Carneiro (2008).	54
Figura 4.12 Sistema de coordenadas de cores CIELab. Fonte: Adaptado de Color Models (2011).	57
Figura 4.13 Desenho esquemático das etapas do ensaio de dureza Rockwell.	62
Figura 4.14 Modelos de penetradores esférico e cônico empregados nos ensaios de dureza Rockwell.....	63
Figura 4.15 Esquema ilustrativo da medição do ângulo de contato. Fonte: Adaptado de Wålinder (2000).....	66
Figura 4.16 Esquema ilustrativo do espalhamento e penetração do ângulo de contato. Fonte: Cruz (2006).....	67
Figura 4.17 Diferenças de molhabilidade (A= não molhada, B= parcialmente molhada e C= molhada) em função do ângulo de contato. Fonte: Adaptado de United States Department of Agriculture - USDA (1987).....	67
Figura 5.1 Detalhe dos frascos de vidro contendo solo corrigido e placa suporte (A). Câmara	

climática durante período de incubação dos frascos de vidro (B).	76
Figura 5.2 Erlenmeyer contendo meio de cultura líquido (A). <i>Gloeophyllum trabeum</i> em meio de cultura sólido (B).	77
Figura 5.3 Erlenmeyer contendo fungo desenvolvido no meio de cultura (A). Detalhe da transferência do fungo desenvolvido para o liquidificador (B). Detalhe da distribuição homogênea dos micélios no meio de cultura (C).	78
Figura 5.4 Sistema para medição dos parâmetros colorimétricos.	81
Figura 5.5 Espectrofotômetro Tensor 37 - Bruker (A). Detalhe do dispositivo de refletância difusa <i>EasyDiff</i> (B). Referência de superfície espelhada (C).	82
Figura 5.6 Espectros de DRIFT-MIR sem manipulação.	84
Figura 5.7. Espectros de DRIFT-MIR com manipulação: correção da linha base e alisamento.	85
Figura 5.8. Espectros de DRIFT-MIR com manipulação: obtenção da média (em azul) e do desvio padrão (em vermelho).	86
Figura 5.9 Espectros de DRIFT-MIR com manipulação: individualização das bandas de interesse (em vermelho).	87
Figura 5.10 Aparelho medidor da dureza Rockwell (A). Detalhe do mostrador analógico com a escala de leitura (B). Detalhe da distribuição dos pontos de medida (C).	89
Figura 5.11 Goniômetro Krüss modelo DSA30	90
Figura 6.1 Perda de massa da madeira de <i>Simarouba amara</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i> .	92
Figura 6.2 Perda de massa da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i> .	93
Figura 6.3 Perda de massa da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i> .	93
Figura 6.4 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.	99
Figura 6.5 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.	99
Figura 6.6 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.	100
Figura 6.7 Alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de <i>Simarouba amara</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.	101
Figura 6.8 Alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.	102
Figura 6.9 Alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> submetida	

ao ataque dos fungos apodrecedores.	103
Figura 6.10 Curva de refletância da madeira de <i>Simarouba amara</i> antes e após o ataque dos fungos apodrecedores.	106
Figura 6.11 Curva de refletância da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> antes e após o ataque dos fungos apodrecedores.	106
Figura 6.12 Curva de refletância da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> antes e após o ataque dos fungos apodrecedores.	107
Figura 6.13 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos b^* , C e h^* da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função do tempo de exposição ao fungo <i>Trametes versicolor</i>	114
Figura 6.14 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos L^* , b^* , C , h^* e ΔE da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função do tempo de exposição ao fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i>	115
Figura 6.15 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos a^* , b^* , C , h^* e ΔE da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição ao fungo <i>Trametes versicolor</i>	116
Figura 6.16 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* , h^* e ΔE da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição ao fungo de <i>Gloeophyllum trabeum</i>	117
Figura 6.17 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos L^* , b^* , C , h^* e ΔE da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição ao fungo <i>Trametes versicolor</i>	118
Figura 6.18 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* , C , h^* e ΔE da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição ao fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i>	119
Figura 6.19 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo <i>Trametes versicolor</i>	123
Figura 6.20 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i>	124
Figura 6.21 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo <i>Trametes versicolor</i>	125
Figura 6.22 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela	

exposição ao fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i>	126
Figura 6.23 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo <i>Trametes versicolor</i>	127
Figura 6.24 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i>	128
Figura 6.25 Dureza Rockwell da madeira de <i>Simarouba amara</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i>	129
Figura 6.26 Dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i>	129
Figura 6.27 Dureza Rockwell da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i>	130
Figura 6.28 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.	133
Figura 6.29 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.	133
Figura 6.30 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.....	134
Figura 6.31 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da perda de massa causada pela exposição aos fungos apodrecedores.	135
Figura 6.32 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da perda de massa causada pela exposição aos fungos apodrecedores.	135
Figura 6.33 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da perda de massa causada pela exposição aos fungos apodrecedores.	136
Figura 6.34 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	140
Figura 6.35 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	141
Figura 6.36 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela	

exposição ao fungo de podridão branca.	142
Figura 6.37 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	143
Figura 6.38 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	144
Figura 6.39 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	145
Figura 6.40 Espectros de DRIFT-MIR das madeiras sadias de <i>Simarouba amara</i> (vermelho), <i>Cariniana micrantha</i> (azul) e <i>Dipteryx odorata</i> (verde).	146
Figura 6.41 Bandas selecionadas na região espectral de 1800 a 900 cm^{-1} para a madeira sadia de <i>Simarouba amara</i>	147
Figura 6.42 Bandas selecionadas na região espectral de 1800 a 900 cm^{-1} para a madeira sadia de <i>Cariniana micrantha</i>	148
Figura 6.43 Bandas selecionadas na região espectral de 1800 a 900 cm^{-1} para a madeira sadia de <i>Dipteryx odorata</i>	148
Figura 6.44 Espectros de DRIFT-MIR da madeira de <i>Simarouba amara</i> antes (vermelho) e após a exposição aos fungos causadores de podridão branca (verde) e parda (azul).	149
Figura 6.45 Espectros de DRIFT-MIR das madeiras de <i>Cariniana micrantha</i> antes (vermelho) e após a exposição aos fungos causadores de podridão branca (verde) e parda (azul). ..	150
Figura 6.46 Espectros de DRIFT-MIR das madeiras de <i>Dipteryx odorata</i> antes (vermelho) e após a exposição aos fungos causadores de podridão branca (verde) e parda (azul).	150
Figura 6.47 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	165
Figura 6.48 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	166
Figura 6.48 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	167
Figura 6.49 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	167

Figura 6.50 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	168
Figura 6.51 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	169
Figura 6.52 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	170
Figura 6.52 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	171
Figura 6.53 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	173
Figura 6.54 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	174
Figura 6.55 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	175
Figura 6.56 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	176
Figura 6.57 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	177
Figura 6.58 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	178
Figura 6.59 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	183
Figura 6.60 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	184

Figura 6.61 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	185
Figura 6.62 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão branca.....	186
Figura 6.62 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão branca.	187
Figura 6.63 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão branca.....	187
Figura 6.64 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão parda.	188
Figura 6.65 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão branca.....	193
Figura 6.66 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão parda.	194
Figura 6.67 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão parda.	195
Figura 6.68 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão branca.....	196
Figura 6.68 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão branca.	197
Figura 6.69 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão branca.....	197
Figura 6.70 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão parda.	198

Figura 6.71 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	201
Figura 6.72 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	202
Figura 6.73 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	203
Figura 6.74 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	204
Figura 6.74 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	205
Figura 6.75 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	205
Figura 6.76 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	206
Figura 6.77 Variação do ângulo de contato da gota d'água na madeira de <i>Simarouba amara</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i>	208
Figura 6.78 Variação do ângulo de contato da gota d'água na madeira de <i>Cariniana micrantha</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i>	209
Figura 6.79 Variação do ângulo de contato da gota d'água na madeira de <i>Dipteryx odorata</i> submetida ao ataque dos fungos apodrecedores <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i>	209
Figura 6.80 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função do tempo de exposição da madeira de <i>Simarouba amara</i> ao fungo de podridão parda.	212
Figura 6.81 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função do tempo de exposição da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> ao fungo de podridão branca.	212

Figura 6.82 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função do tempo de exposição da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> aos fungos apodrecedores.	213
Figura 6.83 Modelo estatístico gerado para a predição da perda de massa da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição ao fungo de podridão parda.....	214
Figura 6.84 Modelo estatístico gerado para a predição da perda de massa da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição ao fungo de podridão branca.....	215
Figura 6.85 Modelo estatístico gerado para a predição da perda de massa da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição aos fungos apodrecedores.	215
Figura 6.86 Modelo estatístico gerado para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Simarouba amara</i> em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição ao fungo de podridão parda.....	216
Figura 6.87 Modelo estatístico gerado para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição aos fungos apodrecedores.	216
Figura 6.88 Modelo estatístico gerado para a predição da dureza Rockwell da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição aos fungos apodrecedores.	217
Figura 6.89 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da variação total da cor da madeira de <i>Simarouba amara</i> causada pela exposição ao fungo de podridão parda.....	220
Figura 6.90 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da variação total da cor da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> causada pela exposição aos fungos apodrecedores.....	220
Figura 6.91 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da variação total da cor da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> causada pela exposição ao fungo de podridão parda.....	221
Figura 6.92 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	221
Figura 6.93 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Simarouba amara</i> causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	222

Figura 6.94 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> causada pela exposição ao fungo de podridão branca.....	223
Figura 6.95 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Dipteryx odorata</i> causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	224
Figura 6.96 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> causada pela exposição ao fungo de podridão parda.	225
Figura 6.97 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	226
Figura 6.97 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de <i>Cariniana micrantha</i> causada pela exposição ao fungo de podridão branca.	227

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
2 OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVO GERAL	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3 HIPÓTESES	26
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA	27
4.1.1 Podridão branca	38
4.1.2 Podridão parda	40
4.1.3 Podridão mole	42
4.2 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA	43
4.3 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO	45
4.4 COLORIMETRIA	53
4.5 ENSAIOS DE DUREZA	60
4.6 MOLHABILIDADE	64
4.7 MARUPÁ – <i>Simarouba amara</i>	69
4.8 JEQUITIBÁ – <i>Cariniana micrantha</i>	70
4.9 CUMARÚ – <i>Dipteryx odorata</i>	71
5 MATERIAL E MÉTODOS	72
5.1 COLETA DO MATERIAL E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA	72
5.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, POROSIDADE, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL DE RESISTÊNCIA NATURAL	73
5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	74
5.4 ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO	75
5.4.1 Preparo do substrato	75
5.4.2 Repicagem dos fungos	77
5.4.3 Inoculação e incubação dos fungos	78
5.4.4 Climatização e esterilização dos corpos de prova	79
5.4.5 Inoculação dos corpos de prova e período de ataque dos fungos	79
5.4.6 Retirada dos corpos de prova e avaliação dos parâmetros tecnológicos	79
5.4.6.1 Perda de massa	80
5.4.6.2 Colorimetria.....	80
5.4.6.3 Espectroscopia de infravermelho médio.....	82

5.4.6.4 Dureza Rockwell	88
5.4.6.5 Molhabilidade	89
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	90
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
6.1 PERDA DE MASSA	92
6.2 ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS	100
6.3 ALTERAÇÃO DA DUREZA ROCKWELL	129
6.4 ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS	146
6.5 ALTERAÇÃO DOS ÂNGULOS DE CONTATO	208
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	229
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	231
APÊNDICES	249

1 INTRODUÇÃO

Em razão de suas propriedades tecnológicas, a madeira vem sendo empregada para os mais variados fins e, com a possibilidade de escassez dos recursos naturais não-renováveis, é provável que a mesma, futuramente, seja a principal fonte de matéria-prima em diversos setores industriais. Nesse sentido, o conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira é uma importante base para o aproveitamento/emprego racional desse material.

Dentre as diferentes propriedades da madeira pode-se destacar a resistência natural à deterioração, a qual é definida como sendo a capacidade intrínseca à espécie de resistir à ação de agentes deterioradores (mecânicos, físicos, químicos e biológicos).

A resistência natural à deterioração é uma das propriedades tecnológicas com maior variabilidade em razão das diferenças de arranjo anatômico e da composição química (qualitativa e quantitativa) da madeira, de modo a proporcionar distintas classes de durabilidade entre espécies, dentro de uma mesma espécie e também dentro de uma mesma árvore.

Dependendo do local e modo de emprego, os produtos a base de madeira podem ser deteriorados por uma gama de agentes biológicos. Devido a frequência de sua ação, os principais agentes biológicos de deterioração da madeira são os fungos, que basicamente se distinguem em emboloradores, manchadores e apodrecedores.

Os fungos apodrecedores são os principais responsáveis pela destruição de vários elementos estruturais produzidos à base de madeira, tanto na construção rural como civil, de modo a ocasionar grandes prejuízos econômicos, seja pela substituição de peças deterioradas ou pelo colapso/ruptura estrutural.

Dentro do mercado madeireiro, madeiras que, reconhecidamente, são classificadas como resistentes à deterioração por fungos apresentam ampla aceitação e difusão de emprego e, conseqüentemente agregam maior valor ao produto final.

A madeira sob ataque de fungos apodrecedores apresenta diversas alterações em suas propriedades tecnológicas, dentre as quais pode-se mencionar: perda de massa, redução da resistência mecânica, modificação da coloração natural, redução da massa específica, aumento da permeabilidade, modificação da composição química, redução da capacidade de isolamento termo-acústico e redução do poder calorífico.

Grande parte dos estudos de resistência da madeira ao ataque de fungos apodrecedores em laboratório tem mantido o foco, apenas, nos estágios finais de deterioração. No entanto, o conhecimento do comportamento das propriedades tecnológicas da madeira nos estágios iniciais e intermediários de deterioração tem relevante importância para que haja um controle mais efetivo sobre os possíveis danos causados por esses microrganismos.

A resistência natural a um determinado tipo de fungo é, em geral, a propriedade mais utilizada para conhecimento do comportamento da madeira exposta aos ensaios de apodrecimento acelerado em laboratório. Entretanto, essa propriedade, obtida pela perda de massa, por vezes, não apresenta a mesma proporção de alteração que as demais propriedades da madeira (químicas, psico-físicas, físicas e mecânicas), sendo desse modo de pouca utilidade quando avaliada isoladamente.

Nesse sentido, torna-se conveniente avaliar as alterações que as demais propriedades da madeira, possam sofrer, mediante a exposição ao ataque de fungos apodrecedores, bem como a interação entre essas propriedades, de modo a propiciar uma melhor caracterização da sua resistência natural.

A espectroscopia vibracional na região do infravermelho médio é uma técnica que vem sendo utilizada para indicação de ligações químicas e, portanto, para distinção de grupos funcionais orgânicos. Com base nessa premissa, a madeira tem sido submetida a vários estudos, dentre os quais pode-se citar a avaliação, em geral na fase final, das alterações nas propriedades químicas quando exposta ao ataque de fungos apodrecedores.

A avaliação visual da cor é um procedimento subjetivo, visto que uma mesma madeira pode

apresentar distinta classificação dependendo do ponto de observação. Quando relacionado ao apodrecimento proporcionado por fungos, de modo geral, alterações apreciáveis na coloração da madeira ocorrem apenas em estágios avançados. Dessa forma, quase sempre é imperiosa a adoção de técnicas que permitam o reconhecimento do ataque desses microrganismos em estágio inicial ou intermediário na madeira. Nesse sentido, outra técnica promissora é a colorimetria, a partir da qual se obtém dados quantitativos a respeito de parâmetros colorimétricos da madeira, sendo possível à classificação da alteração da coloração da madeira quando exposta aos fungos apodrecedores, independente do estágio de ataque.

A determinação da molhabilidade, pela técnica da gota séssil, vem sendo empregada, em geral, na qualificação de lâminas com vista à produção de painéis de madeira. Quando relacionada à caracterização superficial da madeira atacada por fungos apodrecedores, tal técnica é de pouca difusão. No entanto, a molhabilidade apresenta grande potencial em estudos de biodeterioração, em razão de ser uma propriedade de rápida e simples caracterização, de modo a proporcionar respostas macroscópicas quanto a hidrofobicidade ou hidrofiliabilidade de uma determinada superfície de madeira.

Com relação aos estudos da perda de resistência mecânica pelo ataque de fungos apodrecedores, verifica-se que grande parte, mesmo em condições laboratoriais, são realizados com peças de madeira de maiores dimensões, inviabilizando assim comparações com estudos realizados ao utilizar a ASTM D 2017 (norma americana) e EN 113 (norma européia), principais normas empregadas em avaliações de resistência biológica.

A carência de estudos que tratem da adequação do tempo necessário para realização de ensaios acelerados de ataque de fungos em laboratório é outro ponto a ser destacado. Atualmente, esse tipo de ensaio é realizado de acordo com as normas ASTM D 2017 e EN 113, as quais foram desenvolvidas para madeiras e fungos de clima temperado. Desse modo, é de extrema relevância o conhecimento do comportamento das propriedades das madeiras brasileiras ao longo do período de ataque de fungos em laboratório, visando o estabelecimento de padronizações.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Monitorar as alterações de propriedades biológicas, psico-físicas, físicas, químicas e mecânicas das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas ao ataque acelerado de fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* durante 20 semanas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar períodos de tempo (em semanas) para execução dos ensaios de apodrecimento acelerado em laboratório.

Avaliar o emprego de tecnologias não-destrutivas (colorimetria, espectroscopia no infravermelho médio e molhabilidade) que viabilizem o monitoramento das alterações das propriedades (psico-físicas, químicas e físicas) das madeiras atacadas por fungos apodrecedores, em condições de laboratório.

Avaliar o emprego de metodologia de ensaio destrutivo, com auxílio de durômetro de Rockwell, que viabilize o monitoramento das alterações das propriedades mecânicas das madeiras atacadas por fungos apodrecedores, em condições de laboratório.

Estabelecer correlações entre as propriedades avaliadas, de modo a proporcionar a melhor caracterização da deterioração da madeira por fungos apodrecedores, em condições de laboratório.

3 HIPÓTESES

O período de 12 semanas de ataque acelerado de fungos apodrecedores em laboratório, conforme recomendam as normas ASTM D 2017 e EN 113 não é suficiente para determinar a resistência natural das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*.

De acordo com o tipo de fungo apodrecedor, as madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* apresentaram comportamentos diferenciados quanto às alterações nas propriedades biológicas, psico-físicas, físicas, químicas e mecânicas.

As técnicas de espectroscopia no infravermelho médio, colorimetria, molhabilidade e dureza de Rockwell são úteis para o monitoramento da resistência natural, bem como para distinguir os mecanismos enzimáticos dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA

De acordo com Klock *et al.* (2005) a madeira é formada por meio das reações da fotossíntese onde a água e os sais minerais que estão no solo ascendem pelo tronco no xilema ativo (responsável pela translocação da seiva bruta) que ao chegar as folhas (estruturas clorofiladas), possibilita a ocorrência da fotossíntese na presença da luz solar, utilizando o CO₂ que está presente na atmosfera, produzindo glucose (C₆H₁₂O₆) e liberando oxigênio. A equação simplificada que rege esse fenômeno é: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. A glucose é o monômero básico a partir do qual são originados todos os polímeros que formam a madeira, a partir daí será transportada das folhas das árvores no sentido descendente pelas células do floema (responsável pela condução de seiva elaborada).

A madeira é classificada como um material heterogêneo e as variações nas composições químicas, físicas e anatômicas da madeira são expressivas entre espécies, embora dentro da mesma espécie elas também ocorram, em razão, principalmente, da idade, fatores genéticos e ambientais. Dentro de uma mesma espécie, ocorrem variações significativas nos sentidos base-topo (axial) e medula-casca (radial). (TRUGILHO *et al.*, 1996).

Do ponto de vista químico, a variação da composição e da organização dos componentes de alto e baixo peso molecular na ultra-estrutura da madeira justifica a diversidade das propriedades tecnológicas (morfológicas, físicas, mecânicas e biológicas) (PALA, 2007).

Os componentes de alto peso molecular ou principais, como também são denominados, podem ser divididos em: celulose, hemiceluloses e lignina.

A celulose é caracterizada por ser um homopolímero de estrutura linear e elevado grau de polimerização, perfazendo, aproximadamente, 45% da constituição química da madeira. Por ser um homopolímero, a celulose é constituída basicamente por unidade de β-D-anidroglicopiranosose associadas entre si por ligações β-1,4 glicosídicas (Figura 4.1), sendo

essas dada pela eliminação de uma molécula de água que envolve os grupos hidroxílicos dos carbonos 1 e 4 (FENGEL; WEGENER, 1984).

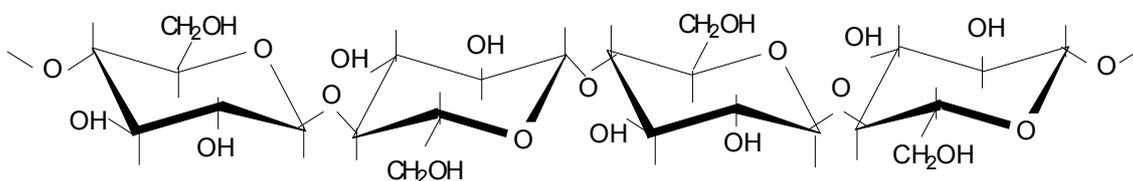


Figura 4.1 Estrutura parcial da molécula de celulose. Fonte: Rowell (2005)

O número de unidades de anidroglicopirranose presente na molécula de celulose é variável em razão da espécie florestal, localização na parede celular e método de isolamento da celulose, no entanto pode-se considerar que em média, para celulose nativa, o grau de polimerização é entre 9.000-10.000, podendo alcançar valores de 15.000 (ROWELL, 2005).

De acordo com Klock *et al.* (2005), em razão de sua estrutura linear e da presença dos grupamentos hidroxílicos, as moléculas de celulose apresentam forte tendência à formação de ligações de hidrogênio intermolecular e intramolecular (Figura 4.2). As ligações intramoleculares ocorrem entre grupos hidroxílicos de unidades de glucose adjacentes na mesma molécula de celulose, de modo a atribuir rigidez à cadeia celulósica. Por sua vez, as ligações intermoleculares são originadas pela formação de ligações de hidrogênio entre grupos hidroxílicos de moléculas adjacentes de celulose, proporcionando coesão entre as cadeias.

Os feixes de moléculas de celulose se agregam na forma de microfibrilas na qual regiões altamente ordenadas (cristalinas) se alternam com regiões menos ordenadas (amorfas), conforme Figura 4.2. A proporção entre zonas cristalinas e amorfas é variável, de acordo com o tipo do material, sendo o grau de cristalinidade, medido por difração de raio X, entre 50 a 70%. Mensurações pelo mesmo processo indicam que a cada 500-600 Å de celulose cristalina, a estrutura apresenta regiões amorfas. Em razão da sua natureza cristalina, a celulose apresenta resistência ao ataque químico e as demais formas de deterioração, em comparação com a maioria das polioses e lignina (SJOSTRÖM, 1993).

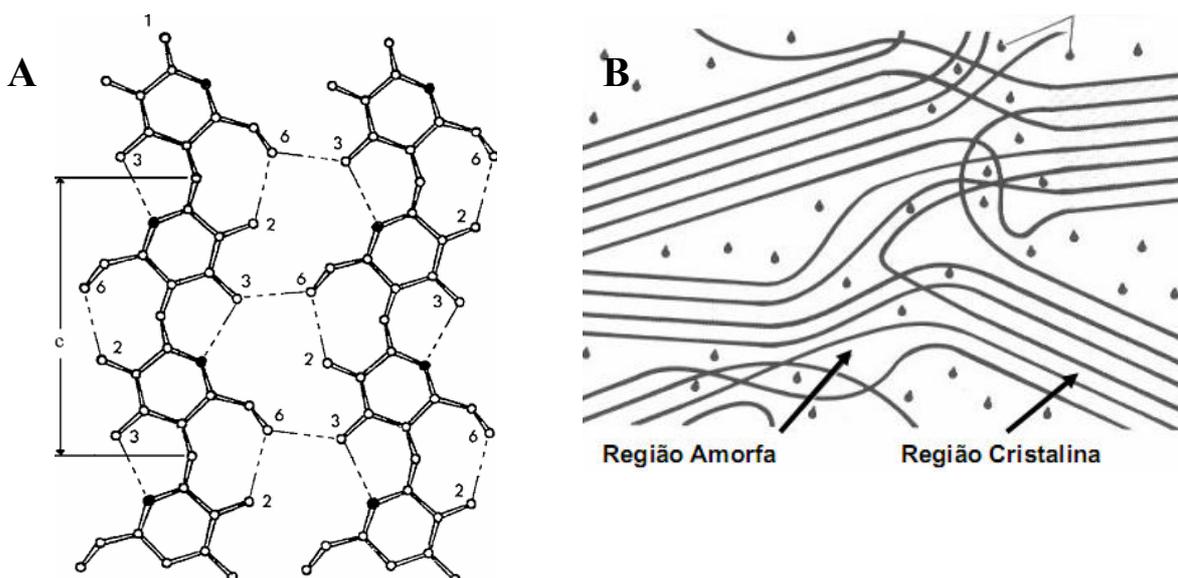


Figura 4.2 Representação esquemática das ligações de hidrogênio (intermoleculares e intramoleculares) (A) e das zonas de ordenamento (cristalinas e amorfas) (B). Fonte: Adaptado de Rowell (2005); Haygreene; Bowyer (1996).

Segundo Klock *et al.* (2005), devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supra molecular, a celulose preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais.

Sjoström (1993) define que as hemiceluloses ou polioses, ao contrário da celulose, são heteropolissacarídeos altamente ramificados, amorfos e com baixo grau de polimerização, aproximadamente, entre 80 a 200. Em sua constituição verifica-se a presença de diferentes unidades de açúcares (Figura 4.3), os quais se dividem em hexoses (β -D-manopiranosose, α -D-galactopiranosose e β -D-glucopiranosose) e pentoses (α -L-arabinopiranosose e β -D-xilopiranosose), além dos ácidos urônicos (α -D-galactourônico, β -D-glucourônico e α -D-4-O-metilglucourônico) e desoxi-hexoses (α -L-fucose e α -L-raminose).

Klock *et al.* (2005) citam que as polioses são polímeros, nos quais participam ao menos duas unidades de açúcares diferentes. Assim as polioses isoladas da madeira são misturas complexas de polissacarídeos, sendo as mais importantes: glucouranoxilanas e glucomanas (madeira de folhosas); arabinoglucouranoxilanas e galactoglucomanas (madeira de coníferas); arabinogalactanas (madeira de reação). A diferenciação entre coníferas e folhosas,

não se dá apenas pelo tipo de poliose presente em sua constituição, mas também em termos quantitativos, de modo geral verifica-se maior teor em folhosas, cerca de 30%, do que em coníferas, que apresentam, aproximadamente, 27% (ROWELL, 2005).

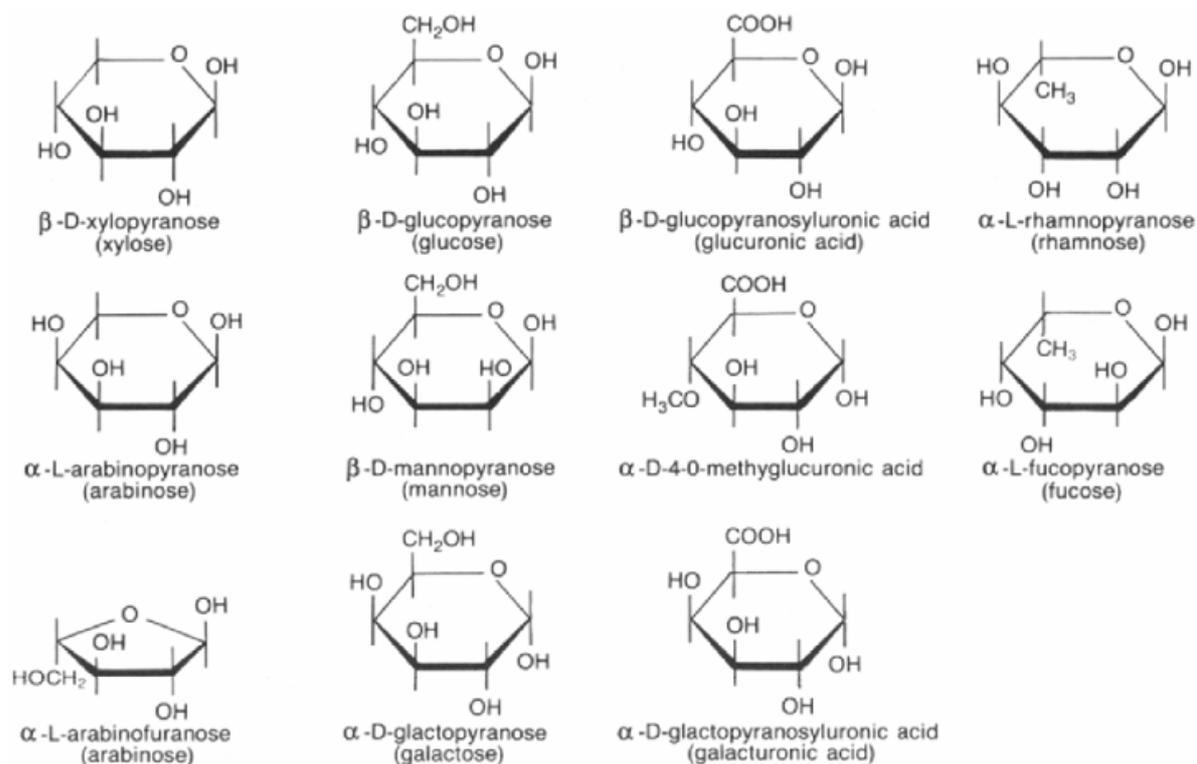


Figura 4.3 Açúcares encontrados na constituição das poliose. Fonte: Rowell (2005).

Por sua vez, a lignina é uma macromolécula amorfa, composta basicamente por unidades de fenilpropano, contendo subestruturas fenólicas (10-20%) e não fenólicas (80-90%) (FENGEL; WEGENER, 1984).

Assim como as poliose, apresentam baixo grau de polimerização, quando comparado a celulose, sendo esse entre 5 a 130, dependendo da espécie vegetal e do grau de deterioração da molécula durante seu isolamento

Segundo Klock *et al.* (2005) a lignina tem sua origem a partir da polimerização dehidrogenativa (iniciada por enzimas) dos seguintes precursores primários: álcool trans-coniferílico, álcool trans-sinapílico e álcool para-trans-cumárico. Por meio desses, são

formados os núcleos aromáticos guaiacil (G), siringil (S) e hidroxifenil (H), conforme Figura 4.4.

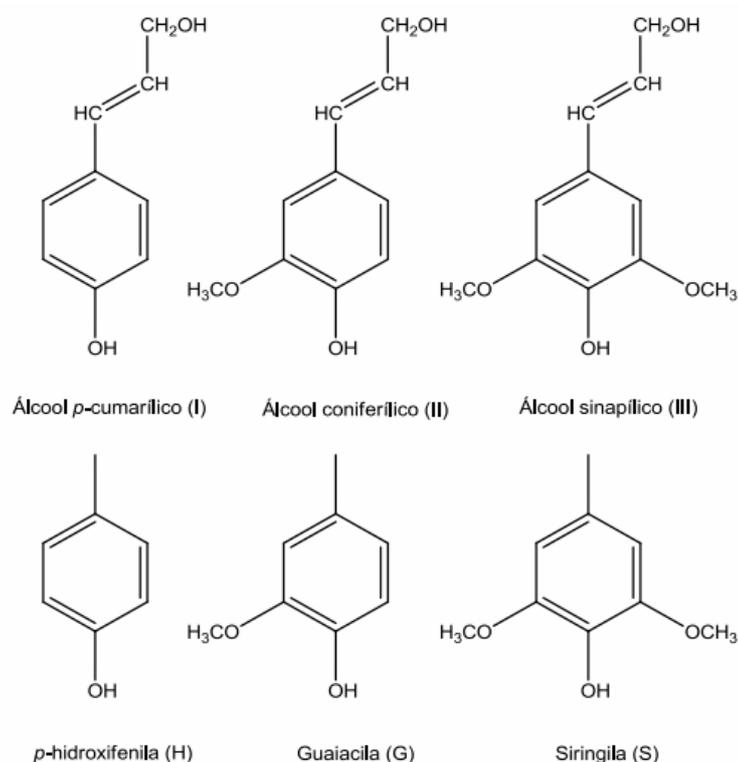


Figura 4.4 Percusores primários e os núcleos aromáticos encontrados nas moléculas de lignina. Fonte: Gurgel (2010).

Rowell (2005) cita que quando considerada a comparação entre folhosas e coníferas, verificam-se diferenças tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. Do ponto de vista quantitativo, as folhosas apresentam menores teores de lignina, cerca de 20 a 25%, em relação às coníferas, que conferem valores de 25 a 30%. Já, em termos qualitativos, verifica-se que a lignina em madeiras de folhosas apresenta-se, de certa maneira, mais “complexa” quando comparada à lignina encontrada em coníferas (Figura 4.5). A lignina presente em coníferas é referida como lignina guaiacil, visto que, aproximadamente, 95% dos estruturais são derivados do álcool coniferílico (DENCE; LIN, 1992). E, com relação à lignina de folhosas, a composição se dá por partes semelhantes (50:50; 60:40 ou 40:60) de álcool sinapílico e coniferílico, sendo denominada de lignina do tipo guaiacil-siringil (DENCE; LIN, 1992).

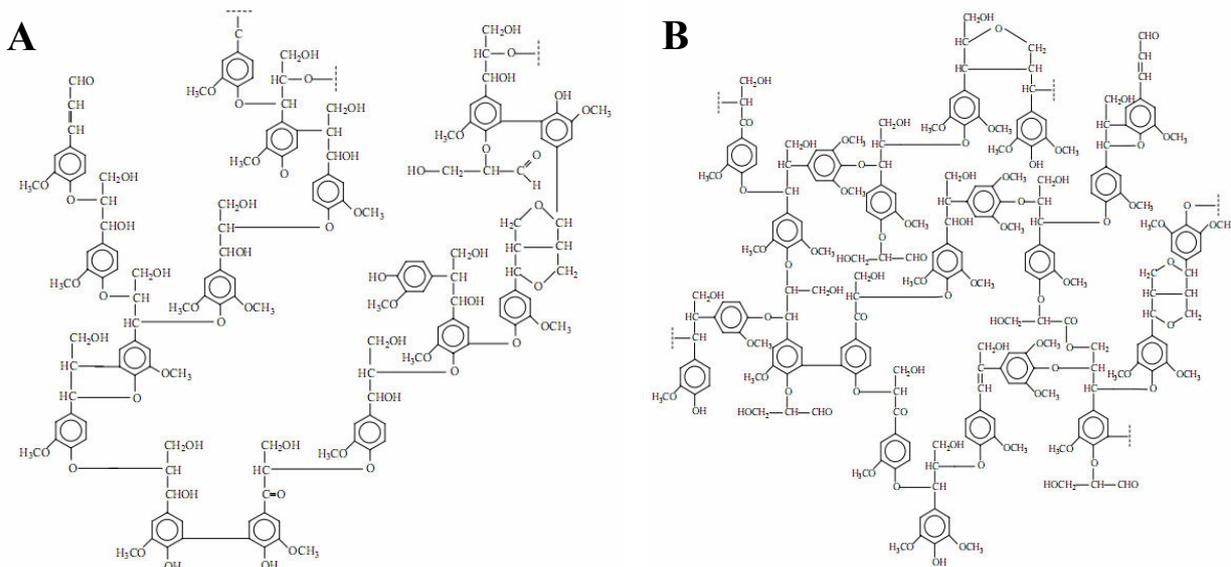


Figura 4.5 Molécula de lignina de conífera (A) e folhosa (B).

As variações de estruturas nas diferentes espécies (coníferas e folhosas) ocorre devido ao fenilpropano, que pode ser substituído nas posições α , β e γ em várias combinações, unidas por ligações do tipo éter (C-O-C) e carbono-carbono (C-C). Consequentemente, as macromoléculas das ligninas não podem ser descritas por uma combinação simples de unidades monoméricas e por um ou poucos tipos de ligações, como no caso da celulose e das poliooses (PASTORE, 2004). As principais subunidades estruturais da lignina são: β -aril-éter, aquilas, grupos terminais, bifenilas, diaril-éter (Figura 4.6).

Apesar das diferenças, os compostos de alto peso molecular estão intimamente associados, de modo físico, e/ou ligados quimicamente, formando as diferentes camadas da parede celular (parede primária e secundária). O modelo de arranjo dos constituintes químicos é semelhante nas diferentes camadas da parede celular, em que as microfibrilas de celulose, responsáveis pela resistência estrutural, são embebidas numa matriz solidificante composta pelas poliooses e lignina (Figura 4.7). De acordo com Fengel; Wegener (1984) a principais interações ocorrem entre celulose e poliooses e entre as poliooses e a lignina, não sendo verificada interação entre celulose e lignina.

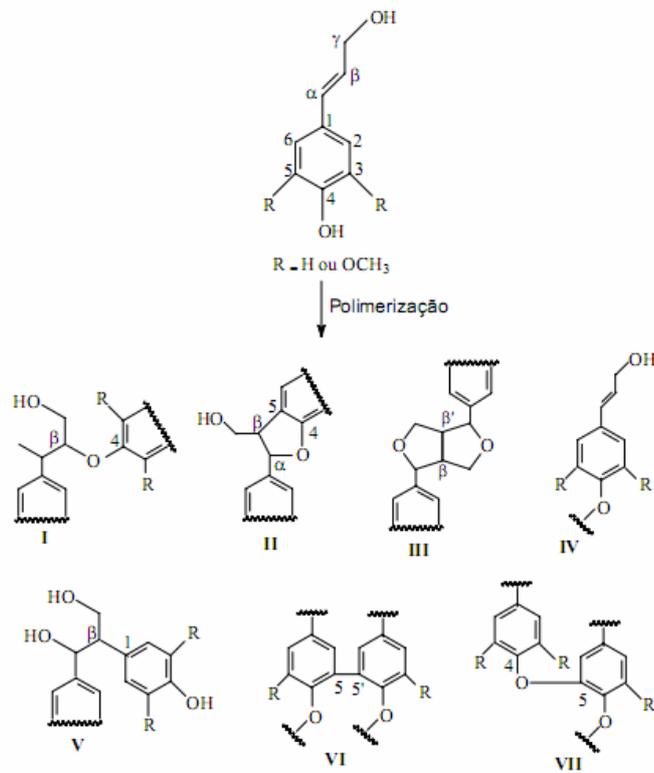


Figura 4.6 Subunidades estruturais presentes nas ligninas. I, II e V= β -aril-éter; III= aquilas; IV= grupos terminais; VI= bifenilas; VII= diaril-éter. Fonte: Marcelo (2007).

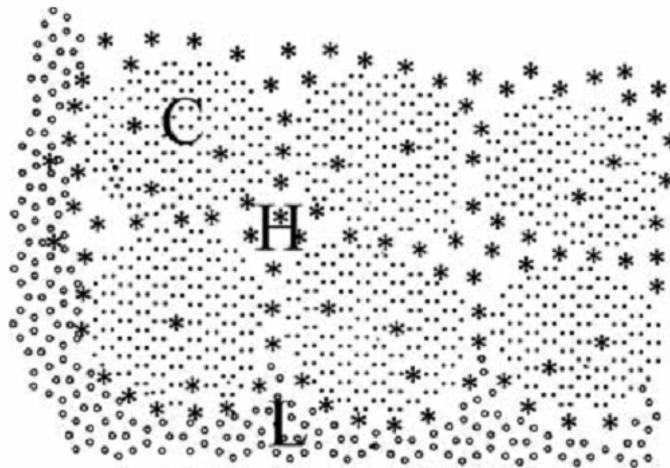


Figura 4.7 Representação do modelo de associação entre celulose, polioses e lignina. Fonte: Rowell (2005).

Adicionalmente, a madeira é constituída por compostos de baixo peso molecular ou acidentais, os quais são depositados no lume das células, dividindo-se em: extrativos e substâncias inorgânicas (LEPAGE, 1986).

As proporções exibem ampla variação e alguns desses componentes são encontrados em quantidades significativas em somente algumas espécies ou gêneros. Assim, determinadas madeiras podem ser caracterizadas pela natureza e quantidade de seus componentes acidentais (KLOCK *et al.*, 2005).

Apesar de estarem presentes na madeira em baixa percentagem, entre 1 a 10%, de modo geral, os compostos acidentais apresentam grande influência em diferentes propriedades da madeira, como: propriedades biológicas, organolépticas, físico-mecânicas e abrasivas.

Lepage (1986) cita que do ponto de vista químico, pode-se dividir os compostos acidentais em: terpenos, compostos alifáticos, compostos fenólicos e substâncias inorgânicas, além de algumas frações de carboidratos (mono e dissacarídeos) e compostos nitrogenosos (proteínas e aminoácidos).

Por ser um material orgânico e heterogêneo quimicamente, a madeira é susceptível a danos causados por um conjunto variado de agentes biológicos, tais como bactérias, fungos, insetos e xilófagos marinhos (PALA, 2007).

Alguns constituintes químicos presentes na madeira, como proteínas, amido, lipídios, açúcares simples e outros pertencentes ao protoplasma, quando a célula estava viva, além de produtos de secreção e extrativos são facilmente acessíveis, no lume das células, e conseqüentemente metabolizáveis por diferentes organismos xilófagos, os quais podem então deteriorar os constituintes químicos principais (SANTINI, 1988; BRAZOLIN, 2007).

Käärik (1975) estipula uma classificação dos organismos xilófagos com base em suas atividades enzimáticas: a) organismos que utilizam as substâncias existentes no lume das

células da madeira, como material nutritivo, mas que não deterioram as paredes celulares. b) organismos que podem promover a deterioração enzimática das paredes celulares.

Segundo Costa (2003), a deterioração da madeira é um fenômeno que pode também ser causado por outros agentes, além dos biológicos, no caso físicos, químicos e mecânicos. Independente do agente, diversas alterações indesejáveis podem ocorrer na madeira, de modo a influenciar nas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Dentre os agentes biológicos que utilizam a madeira como fonte de nutrição e, conseqüentemente causam sua deterioração, Moreschi (2005) cita que os fungos são os responsáveis pela maior proporção de danos causados visto que os mesmos ocorrem com elevada frequência na madeira.

Os fungos são microrganismos heterotróficos, ou seja, utilizam compostos orgânicos como fonte de energia. Alimentam-se pela secreção de enzimas extracelulares que digerem o substrato (fonte de alimento) e disponibilizam nutrientes solúveis capazes de serem absorvidos pelas células fúngicas. São constituídos por um corpo vegetativo (talo), composto por filamentos (hifas) que formam uma rede microscópica junto ao substrato (micélio), através da qual são absorvidos os nutrientes. Na fase reprodutiva, produzem esporos, que são dispersos através do ar, da água ou dos insetos. Alguns fungos, nomeadamente os pertencentes à classe dos Basidiomicetos, formam estruturas reprodutoras visíveis a olho nu, denominadas de corpo frutífero. A parede celular das hifas é constituída fundamentalmente por quitina, o que lhe confere grande resistência. Estas podem ser modificadas para produzir estruturas altamente especializadas, de modo a maximizar a interação com o substrato disponível (PALA, 2007).

O fenômeno de biodeterioração da madeira, causado por fungos xilófagos, se dá em etapas ou estágios graduais e contínuos, de acordo com o tipo de microrganismo em desenvolvimento na madeira. De modo geral, pode-se dividir o fenômeno de biodeterioração em três estágios: O primeiro estágio, denominado de incipiente, ocorre a partir do momento em que se dá a penetração superficial na madeira pelos microrganismos, resultando na liberação de enzimas que agem na colonização. Nesse primeiro momento, não há evidências macroscópicas que

indiquem o ataque na madeira. Aos primeiros sinais visuais de ataque de microrganismos, classifica-se essa etapa de recente. A etapa seguinte, denominada de intermediária, é caracterizada pela alteração evidente da coloração, entretanto a estrutura permanece inalterada. No último estágio, denominado de avançado, ocorre a total destruição da estrutura da madeira (ZABEL; MORRELL, 1992).

Diversas enzimas são produzidas pelos fungos xilófagos durante a colonização da madeira e, basicamente, os complexos enzimáticos produzidos constituem-se dos sistemas hidrolítico e oxidativo. As enzimas responsáveis pela deterioração da celulose e das polioses são hidrolases que apresentam certa especificidade pelo respectivo substrato, ao passo que as enzimas envolvidas na degradação da lignina são oxidases e, em geral, são pouco específicas (ARANTES; MILAGRES, 2009)

Conforme pode-se observar na Figura 4.8, a hidrólise da celulose ocorre pela ação sinérgica de três celulasas: endo-1,4- β -glucanase, exo-1,4- β -glucanase e 1,4- β -glucosidase. As endo-1,4- β -glucanases são efetivas na deterioração da celulose amorfa e, atacam aleatoriamente as ligações glucosídicas no interior da cadeia celulósica, de modo a aumentar o número de sítios disponíveis para a intervenção das exo-1,4- β -glucanases. As exo-1,4- β -glucanases caracterizam-se por deteriorarem as regiões cristalinas da celulose, mediante a clivagem de dímeros de celobiose nas extremidades (reduzora ou não-reduzora) das cadeias celulósicas. Por sua vez, as 1,4- β -glucosidases hidrolisam os dímeros de celobiose em unidades monoméricas de glucose, de forma a minimizar uma possível ação inibitória que a presença da celobiose exerce sobre as atividades das endo-1,4- β -glucanases e exo-1,4- β -glucanases (PALA, 2007).

Contrariamente à deterioração enzimática da celulose, em que se necessitam somente enzimas que hidrolisem ligações β -1,4 glucosídicas, a deterioração enzimática das polioses requer um conjunto enzimático mais complexo, uma vez que diferentes tipos de ligações e unidades monoméricas estão presentes na sua estrutura de heteropolissacarídeo ramificado. A completa deterioração das polioses requer a ação de uma série de enzimas hidrolíticas, sendo as principais endo-1,4- β -xilanas e β -xilosidase, e de enzimas acessórias, como α -glucuronidase,

α -L-arabionofuranosidase, acetil esterase, mananases e galactanases (ARANTES; MILAGRES, 2009).

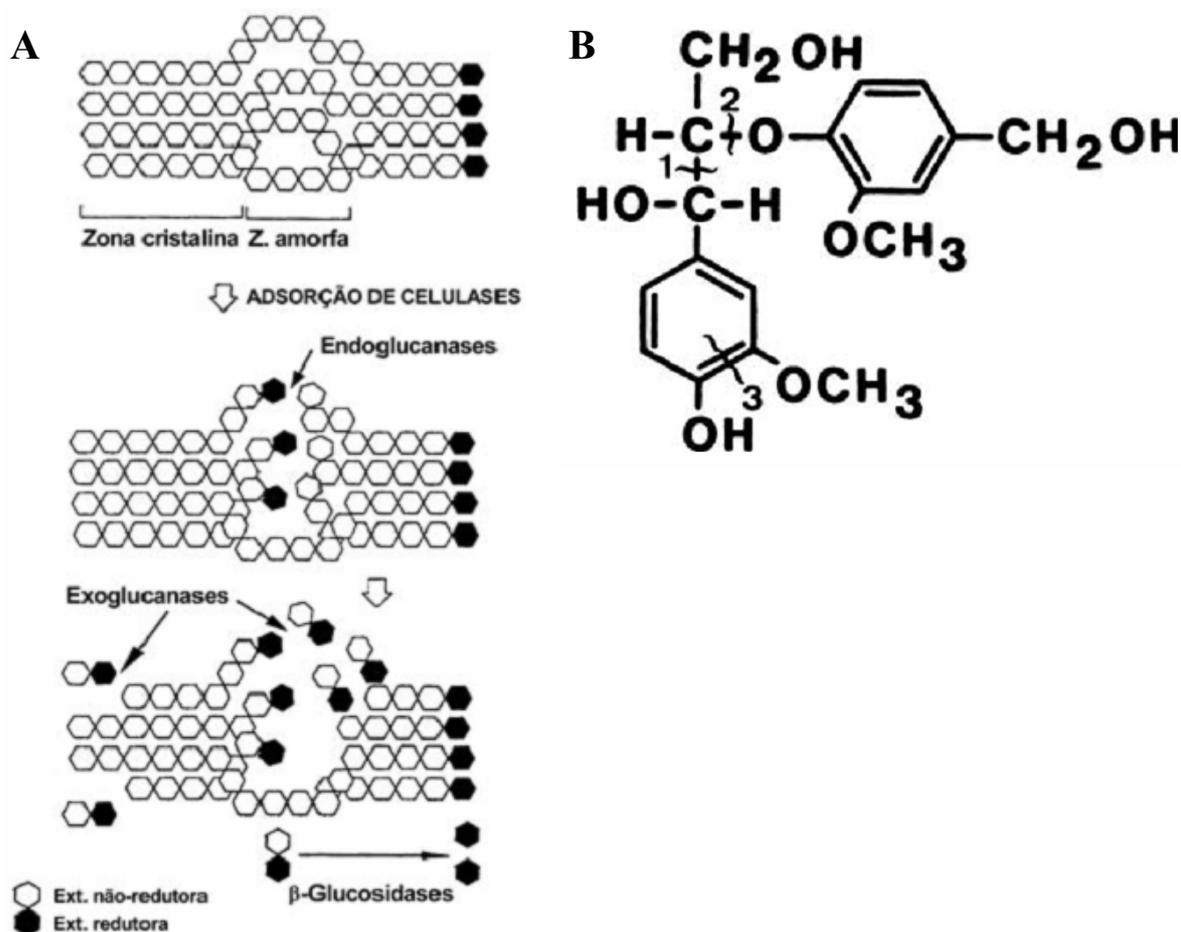


Figura 4.8 Representação esquemática da deterioração enzimática da celulose por meio da ação das celulasas (A) e da lignina por meio da ação da lignina-peroxidase (B): 1= clivagem das ligações C-C; 2= clivagem das ligações C-O-C; 3= clivagem do anel aromático. Fonte: Pala (2007) e Rowell (2005).

Em relação à deterioração da lignina as principais enzimas oxidativas são as peroxidases, em que se pode destacar a lignina-peroxidase (LiP) e a peroxidase dependente de manganês (MnP), e as oxidases ou lacases (ROWELL, 2005).

A LiP apresenta potencial de oxidação suficientemente elevado para abstrair elétrons de subestruturas fenólicas e não fenólicas, ao passo que MnP, que apresenta menor potencial de oxidação, é capaz somente de abstrair elétrons de subunidades fenólicas. Por sua vez, as

lacases apresentam capacidade de oxidação de subunidades fenólicas da lignina (ARANTES; MILAGRES). Nesse sentido, a LiP é considerada a principal ligninase, em virtude de possibilitar a deterioração das diferentes subestruturas da lignina. Na Figura 4.8 verifica-se um desenho esquemático da ação da LiP na molécula de lignina.

Os fungos que atacam a madeira podem ser divididos em emboloradores, manchadores e apodrecedores. Pala (2007) afirma que os fungos apodrecedores são provavelmente uma das formas de deterioração da madeira mais comuns que resulta na destruição acentuada do material. Os fungos apodrecedores podem ser classificados em três grupos, de acordo com a sua preferência alimentar: podridão branca, parda e mole.

4.1.1 Podridão branca

Os fungos causadores da podridão branca pertencem à classe dos Basidiomicetos, e, raramente, dos Ascomicetos, e deterioram sem distinção polissacarídeos e lignina (ROWELL, 2005; SILVA, 2007). Nos estágios iniciais, os fungos podem apresentar certa preferência alimentar, tanto em constituintes químicos quanto em região da parede celular (SCHWARZE, 2000). Em geral, esses fungos deterioram em maior grau madeiras de folhosas em comparação com coníferas (CURLING *et al.* 2000).

Macroscopicamente, a madeira deteriorada por fungos de podridão branca apresenta tendência de perder seu aspecto lustroso e sua cor natural, tornando-se esbranquiçada, como resultado da destruição de pigmentos (SANTINI, 1988). Além disso, adquire uma consistência esponjosa, por vezes, linhas escuras demarcam a área atacada (LELIS *et al.* 2001).

Rowell (2005) cita que a podridão branca pode ser classificada, com base nas características macroscópicas da deterioração, em: podridão de bolsas brancas; podridão branca-mosqueada; podridão branca-fibrosa.

Microscopicamente, por vezes, observa-se um gradativo afinamento da parede secundária das células atacadas. Em estágios iniciais as hifas desses fungos colonizam intensivamente os

raios e vasos (folhosas), penetrando nas fibras e traqueídeos apenas em estágios posteriores de ataque. A passagem de célula para célula pode ocorrer através das pontuações ou pela penetração na parede celular, o que se deve às enzimas produzidas nos topos e superfícies laterais das hifas, formando perfurações que podem ser ampliadas em estágios avançados de ataque. Nos tecidos lignificados as hifas permanecem no lume da célula e deterioram a parede celular de dentro para fora, a partir da camada S3, assim provocando o gradativo afinamento da parede celular (OLIVEIRA, 1986).

Em nível microscópico, podem-se diferenciar dois modos distintos de deterioração da célula vegetal pelos fungos de podridão branca. O primeiro, e mais comum, é denominado de deterioração simultânea, e os carboidratos e lignina são atacados de modo igual. Nesse caso, verifica-se uma erosão progressiva da parede celular no sentido lume-lamela média, levando à diminuição progressiva e irregular da espessura da parede celular da madeira. A outra forma de deterioração é classificada como seletiva, sendo as hemiceluloses e lignina preferencialmente deterioradas, em especial nos estágios iniciais, sem a simultânea erosão da parede celular vegetal, ou seja, a deterioração da lignina ocorre em pontos distantes da hifa fúngica. Por não ocorrer a despolimerização significativa da celulose, a parede celular, apesar de deteriorada, mantém sua forma original (WORRALL *et al.*, 1997; ARANTES; MILAGRES, 2009).

Tanto em nível microscópico quanto macroscópico, as classificações do ataque da podridão branca são dependentes do fungo, da madeira e das condições ecológicas. Na Tabela 4.1 são especificados alguns dos principais e mais comuns fungos causadores de podridão branca.

Tabela 4.1 Principais fungos causadores da podridão branca. Fonte: Adaptado de Rowell (2005).

Fungo	Ocorrência predominante			
	Árvore em pé	Madeira serrada	Coníferas	Folhosas
<i>Armillaria mellea</i>	X		X	X
<i>Donkioporia expansa</i>		X	X	X
<i>Fomes fomentarius</i>	X			X
<i>Heterobasidion annosum</i>	X		X	
<i>Meripilus giganteus</i>	X			X
<i>Phellinus pini</i>	X		X	
<i>Polyporus squamosus</i>	X			X
<i>Schizophyllum commune</i>		X		X
<i>Stereum sanguinolentum</i>	X	X	X	
<i>Trametes versicolor</i>		X		X

4.1.2 Podridão parda

De acordo com Moreschi (2005), a podridão parda é causada por fungos pertencentes à classe dos Basidiomicetos.

Diferente da podridão branca, os fungos de podridão parda deterioram, apenas, os polissacarídeos, mantendo a lignina residual intacta (OLIVEIRA, 1986). No entanto, Highley *et al.* (1985) levantaram a possibilidade de haver dois tipos de hifas presentes no fungo de podridão parda, algumas com a capacidade de deteriorar e metabolizar todos os componentes da parede celular, incluindo a lignina, enquanto que outras meramente modificam a estrutura da lignina. A deterioração da lignina nesse caso ocorre apenas nos estágios finais (WORRALL *et al.*, 1997), porém, a explicação mais plausível para a perda de lignina está relacionada com a liberação de metanol proveniente das reações de desmetoxilação e não com a deterioração da lignina propriamente dita (ARANTES; MILAGRES, 2009).

Ao analisar macroscopicamente, Mendes; Alves (1988) mencionam que a madeira deteriorada por fungos da podridão parda apresenta aspecto de estar levemente queimada, adquirindo coloração parda. Quando em estágio avançado do ataque, observa-se, na madeira seca, além da alteração da cor, fissuras paralelas e perpendiculares às fibras da madeira que também adquire uma consistência quebradiça e friável (LELIS *et al.* 2001).

Microscopicamente, não ocorre deterioração da célula na direção lume-lamela média como na podridão branca, devido à lignina residual manter a estrutura da célula. A hifa do fungo, que se encontra no lume, secreta enzimas que se difundem através da parede celular, destruindo os carboidratos. Quando a lignina residual já não suporta as forças às quais a célula está sujeita, ocorre o colapso da parede celular. O ataque do fungo não é uniforme em células de uma mesma região, resultando disso, as áreas colapsadas da madeira com podridão parda (SANTINI, 1988).

Nas coníferas em estágios iniciais de ataque, as hifas concentram-se nos raios, enquanto que nas folhosas a distribuição inicial das hifas é mais uniforme, em algumas espécies a colonização pelos vasos é maior que pelos raios. As hifas desses fungos permanecem no lume das células na superfície da camada S3, que não é atacada. A remoção das substâncias das paredes começa na camada S2, atingindo depois a camada S1 e lamela média. Tal comportamento destaca grande capacidade de difusão do sistema enzimático através da parede celular (OLIVEIRA *et al.*, 1986).

Segundo Green; Highley (1997); Highley *et al.* (1985) os fungos de podridão parda apresentam certa preferência para deteriorarem madeiras de coníferas. Na Tabela 4.2 são especificados alguns dos principais e mais comuns fungos causadores de podridão parda.

Tabela 4.2 Principais fungos causadores da podridão parda. Fonte: Adaptado de Rowell (2005).

Fungo	Ocorrência predominante			
	Árvore em pé	Madeira serrada	Coníferas	Folhosas
<i>Laetiporus sulphureus</i>	X			X
<i>Phaeolus schweinitzii</i>	X		X	
<i>Piptoporus betulinus</i>	X			X
<i>Sparassis crispa</i>	X		X	
<i>Gloeophyllum</i> spp.		X	X	
<i>Daedalea quercina</i>		X		X
<i>Lentinus lepideus</i>		X	X	
<i>Paxillus panuoides</i>		X	X	
<i>Antrodia</i> spp.		X	X	
<i>Coniophora</i> spp.		X	X	
<i>Serpula lacrymans</i>		X	X	
<i>Meruliporia incrassata</i>		X	X	X

4.1.3 Podridão mole

Os fungos de podridão mole, pertencentes às classes dos Ascomicetos e Schizomicetos, deterioram, primariamente, a celulose e as hemiceluloses. A deterioração da lignina é mais lenta, sendo dependente do fungo e da madeira (BRAZOLIN; TOMAZELLO FILHO, 1999), de modo geral nos estágios iniciais de apodrecimento não ocorre alteração da mesma.

Diferentemente do apodrecimento proporcionado pelos fungos da classe dos Basidiomicetos, a podridão mole se restringe à superfície da madeira, dificilmente, penetrando mais do que 20 mm de espessura (MORESCHI, 2005). Entretanto, a porção atacada da madeira pode se destacar com facilidade, expondo novas regiões ao ataque dos fungos.

Em nível macroscópico, quando úmidas, as peças de madeira com podridão mole apresentam superfície com amolecimento característico. Ao secar, essa superfície escurece e tende a apresentar pequenas fissuras paralelas e perpendiculares às fibras da madeira (LELIS *et al.* 2001).

As hifas dos fungos de podridão mole colonizam, num primeiro momento, o parênquima radial utilizando como fonte de energia as substâncias de reserva. Posteriormente, ocorre a colonização das células lignificadas através do lume e passam de uma célula para outra pelas pontuações (CAVALCANTE, 1982).

De acordo com Oliveira *et al.* (1986), microscopicamente, verificam-se diferenças no processo de colonização da parede celular em coníferas e folhosas. Nas coníferas a típica deterioração é aquela onde da hifa-mãe, presente no lume, parte uma hifa de diâmetro diminuto que penetra até a camada S2 e ali se ramifica em forma de “T”. Um braço do “T” cresce em sentido oposto ao do outro, sendo que ambos penetram na camada S2, acompanhando a direção das microfibrilas da celulose e formando cavidades rombóides. Por sua vez, nas folhosas a ramificação em “T” raramente é observada, sendo que o mais comum é a penetração da hifa de forma oblíqua na parede celular, ramificação em “V”, de modo a provocar a deterioração acentuada das camadas S3 e S2.

4.2 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA

De acordo com Eaton; Hale (1993) a durabilidade natural da madeira pode ser conceituada como sendo a capacidade que uma determinada espécie apresenta de resistir a ação dos diferentes agentes deterioradores.

Lopez; Milano (1986) citam que faz parte do conhecimento popular que madeiras de diferentes espécies podem apresentar durabilidades distintas. A classificação de durabilidade e a utilização da madeira baseada na experiência empírica e na sua reputação para determinadas aplicações é uma prática que se confunde com a própria história da utilização desse material pelo homem e que, ainda hoje, é muito adotada.

Para definição do grau de durabilidade natural de uma determinada espécie, basicamente, dois tipos de ensaios, dependendo do propósito, podem ser executados: ensaios em laboratório e ensaios de campo.

Conforme mencionado por Lunz (2001), ao comparar os estágios de durabilidade de madeiras em ensaios de laboratório e de campo, observa-se que os ensaios de campo submetem a madeira a riscos de deterioração e desgaste não contemplados nos ensaios realizados em laboratório. Por outro lado, Santini (1988), destaca como principal desvantagem para os ensaios em campo, o longo período (anos) necessário para obtenção de diagnósticos, em razão do uso de peças roliças de grandes dimensões. Nesse sentido, os ensaios em laboratório têm sido extensivamente empregados com a finalidade de servirem como um primeiro estágio de qualificação da durabilidade natural, de modo a atender as respostas imediatas tanto de setores tecnológicos quanto econômicos.

Quando considerados os ensaios de durabilidade natural a fungos xilófagos (ensaios de laboratório), basicamente, são empregadas duas metodologias normalizadas a ASTM D 2017 e a EN 113, as quais consistem na exposição de corpos de prova, oriundos do cerne, às culturas fúngicas puras estabelecidas em meio de malte-ágar. Posterior às 12 semanas de exposição, os corpos de prova são removidos e procede-se a determinação da perda de massa, bem como a

classificação em classes de resistência (Tabelas 4.3 e 4.4).

Tabela 4.3 Classes de resistência a fungos xilófagos ASTM D 2017.

Classe de Resistência	Perda de massa (%)	Massa residual (%)
Muito resistente	0-10	90-100
Resistente	11-24	76-89
Resistência moderada	25-44	56-75
Pouco ou não resistente	> 45	> 55

Tabela 4.4 Classes de resistência a fungos xilófagos EN 113.

Classe de Resistência	Perda de massa (%)	Massa residual (%)
Muito durável	< 1	< 99
Durável	1-5	95-99
Durabilidade moderada	5-10	90-95
Não durável	10-30	70-90
Precível	> 30	> 70

De modo geral, a única diferença entre as duas normas se refere às dimensões dos corpos de prova empregados nos ensaios, sendo de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm e 5,0 x 2,5 x 1,5 cm (menor dimensão no sentido axial), para a ASTM D 2017 e EN 113, respectivamente. No entanto, o emprego de dimensões tão reduzidas inviabiliza a adoção de diferentes técnicas convencionais de avaliação da durabilidade natural, como ensaios destrutivos de resistência mecânica e caracterização química por via úmida, restringindo assim apenas a mensuração da perda de massa.

Oliveira (1986) menciona que os ensaios de apodrecimento acelerado apresentam alguns pontos a serem considerados quando da interpretação dos resultados finais. Com relação ao tempo de exposição, o autor supracitado menciona que quanto maior for esse, maior será a perda de massa observada. Para madeiras de reconhecida resistência natural, recomenda-se estender o período de exposição aos microrganismos xilófagos, de modo a possibilitar a obtenção de perdas de massa significativas. No entanto, não se tem padronizações estabelecidas para tais situações.

Oliveira (1986) ainda ressalta que a classificação das madeiras com base em classes de perda de massa, estabelecidas pelas normas ASTM D 2017 e EN 113, deve ser vista com reservas,

uma vez que as mesmas são arbitrárias e baseadas na experiência de ensaios estabelecidos para madeira de países de clima temperado.

Outro ponto destacado por Fackler *et al.* (2007a) é que os métodos convencionais de avaliação da deterioração da madeira por agentes xilófagos não são precisos nos estágios iniciais. A identificação da deterioração inicial da madeira é de suma importância para que haja possibilidade de execução de tratamentos preventivos, nesse sentido, diversas metodologias alternativas, em especial as não destrutivas, para avaliar o ataque fúngico têm sido estudadas.

A utilização de métodos não destrutivos para a avaliação das propriedades da madeira e de seus subprodutos é bastante difundida, e remonta desde a década de 1960. No Brasil essa técnica começou a ser estudada apenas no final da década de 1980 (STANGERLIN *et al.*, 2010a). Os métodos não destrutivos podem ser definidos, segundo Bucur (2006) e Pellerin; Ross (2002), como sendo aqueles que permitem a estimativa de propriedades da madeira e subprodutos, tais como biológicas, físicas, químicas e mecânicas, sem alterar a característica estrutural e conseqüente emprego final.

De acordo Stangerlin *et al.* (2010b) o grande diferencial dos ensaios não destrutivos em relação à caracterização destrutiva é a rapidez na obtenção da informação com um menor volume de trabalho. Além disso, os resultados obtidos nos ensaios destrutivos são apenas uma estimativa, já que os mesmos são realizados por meio de amostragem e não da peça real em uso.

4.3 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO

Segundo Pasquini (2003) a radiação eletromagnética é uma oscilação, em fase, dos campos elétricos e magnéticos que se propagam, por meio do espaço, transportando energia na forma de ondas (Figura 4.9).

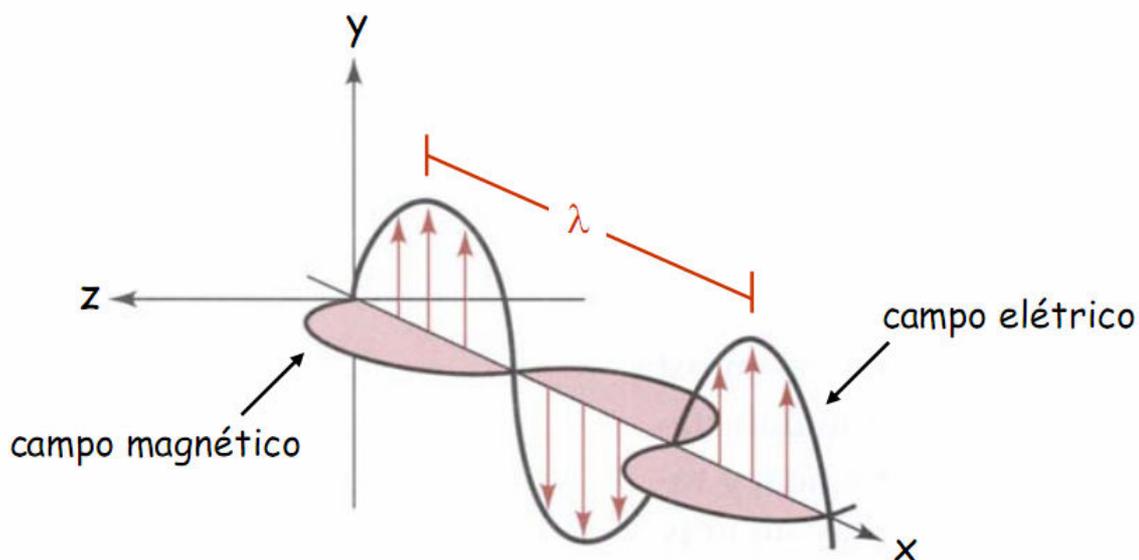


Figura 4.9 Transmissão da radiação eletromagnética na forma de ondas.

A frequência (f) da onda refere-se ao número de ciclos realizados por unidade de tempo em um determinado ponto, sendo expresso em Hertz (Hz). A distância entre dois máximos na direção de propagação da onda é chamada de comprimento de onda (λ), enquanto que o tempo para que um máximo efetue esse ciclo é chamado período (T) da onda.

Conforme Kellner *et al.* (2004) outra propriedade importante das ondas eletromagnéticas se refere a quantidade de energia que é transportada por um feixe de luz, a qual é dada pela equação de Planck (Equação 4.1).

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (4.1)$$

Em que: E = energia da radiação; h = constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s.); ν = frequência, c = velocidade da luz; λ = comprimento de onda.

O espectro eletromagnético caracteriza-se por ser o intervalo completo da radiação eletromagnética que de acordo com a frequência da onda pode-se classificar, em ordem decrescente: ondas de rádio, microondas, infravermelho, luz visível, raios ultravioleta, raios X e radiação gama.

A radiação de determinado comprimento de onda, e por consequência com determinado valor de frequência e energia, quando entra em contato ou interage com a matéria, resulta em um fenômeno espectroscópico. Os fenômenos espectroscópicos têm por finalidade o estudo dos níveis de energia de átomos ou moléculas (OLIVEIRA, 2001).

A espectroscopia no infravermelho mede a absorção de radiação infravermelha pelas ligações químicas de um material. A radiação infravermelha é uma radiação não ionizante na porção invisível do espectro eletromagnético, a qual se estende, em comprimento de onda, de aproximadamente 12.800 cm^{-1} até quase 10 cm^{-1} . Em razão da amplitude, convencionalmente, a região espectral do infravermelho é subdividida em três regiões (SKOOG *et al.*, 2002): infravermelho próximo (NIR) ($12.800\text{-}4.000\text{ cm}^{-1}$), médio (MIR) ($4.000\text{-}200\text{ cm}^{-1}$) e distante (FAR) ($200\text{-}10\text{ cm}^{-1}$) (Figura 4.10).

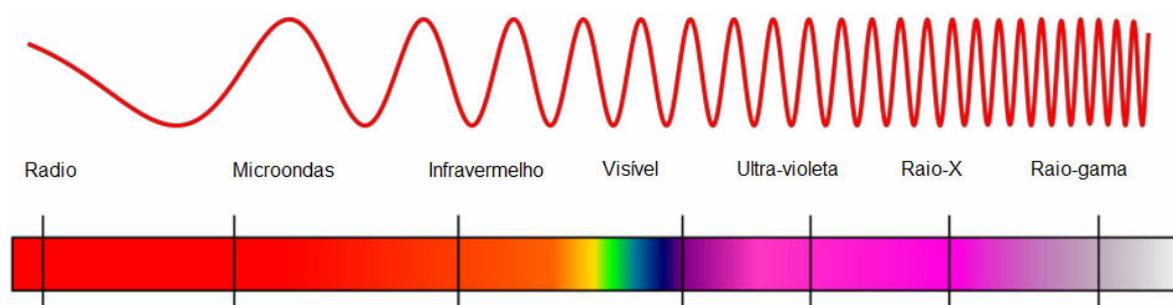


Figura 4.10 Espectro eletromagnético na região do infravermelho.

A luz provoca na matéria a chamada transição de estados energéticos, as quais podem ser divididas em eletrônicas, rotacionais, vibracionais ou ainda translacionais, dependendo do comprimento de onda (OLIVEIRA, 2001). No caso da luz infravermelha, ao incidir numa molécula, provoca a excitação dos modos vibracionais. Quando a energia radiante corresponde à diferença entre dois níveis energéticos vibracionais a absorção ocorre (SANTOS, 2007).

De modo resumido, pode-se definir que a técnica espectroscópica no infravermelho se baseia no fato de que as ligações químicas das substâncias possuem frequências de vibração específicas, as quais correspondem a níveis de energia da molécula, no caso níveis vibracionais.

Skoog *et al.* (2002) citam que a região do infravermelho médio está relacionada, principalmente, com as transições vibracionais fundamentais, que envolvem o estado fundamental e o primeiro estado vibracional excitado.

Para que se possa fazer a leitura experimental de uma vibração na região do infravermelho se faz necessário que o momento dipolar de uma molécula, em estudo, apresente variação com o movimento vibracional (SILVERSTEIN, 1979).

De acordo com Silverstein (1979) existem dois tipos de vibrações moleculares: vibração de estiramento (*stretching*) e de deformação (*bending*). As vibrações de estiramento, que se dividem em simétricas e assimétricas, são oscilações radiais das distâncias entre os núcleos. Por sua vez as deformações envolvem mudanças dos ângulos entre as ligações, no caso das deformações dentro do plano ou, como no modo de deformação fora do plano, alterações do ângulo entre o plano que contém as ligações e um plano de referência.

As atribuições das frequências de vibração molecular de estiramento podem ser aproximadas por meio da aplicação da Lei de Hooke. Ao aplicar a Lei de Hooke, dois átomos e a respectiva ligação entre ambos são tratados como um oscilador composto por duas massas (átomos) ligados por meio de uma mola. A Equação 4.2, derivada da Lei de Hooke, estabelece relação entre a frequência de oscilação, massas atômicas e a força constante de ligação.

$$\nu = \frac{1}{2\pi c} * \left[\frac{f}{\frac{(Ma * Mb)}{(Ma + Mb)}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.2)$$

Em que: ν = frequência de vibração (cm^{-1}); c = velocidade da luz ($cm.s^{-1}$); Ma e Mb = massa atômica (g), dos átomos "a" e "b"; f = força constante de ligação ($dyne.cm^{-1}$).

Desse modo, resumidamente, a absorção de energia proveniente de um emissor no infravermelho é regulada pela frequência de vibração e a natureza da ligação química.

Skoog *et al.* (2002) citam que as ligações químicas C-O, O-H, C-H, C-C, C-N e N-H estão envolvidas nos modos de vibração molecular na região do infravermelho.

O registro gráfico do número e tipos de movimentos de vibração molecular possíveis para um determinado composto em análise é denominado de espectro de absorção na região do infravermelho. A análise do espectro de absorção permite caracterizar diferentes amostras, a partir do prévio conhecimento da localização das bandas de absorção de cada grupo funcional (SILVERSTEIN, 1979; SALIBA *et al.* 2001). A representação gráfica do espectro corresponde a relação entre a frequência de absorção, característica de cada grupo funcional, e a intensidade de radiação absorvida, refletida ou transmitida.

De acordo com Silverstein (1979) e Saliba *et al.* (2001) embora o espectro na região do infravermelho seja característico da molécula em estudo, como um todo, determinados grupos de átomos dão origem a bandas que ocorrem mais ou menos na mesma frequência, independentemente da estrutura da molécula. Em razão da presença dessas bandas características que se permite a obtenção, mediante simples exame do espectro e consulta a tabelas, de informações estruturais úteis.

Os modelos de espectrofotômetro são divididos, basicamente em tipo dispersivo ou interferométrico, de acordo com o princípio ótico que é dado em razão de como a luz é espectralmente modulada.

Segundo Viana (2008) os espectrofotômetros do tipo dispersivos, até os anos 1970, eram os mais empregados para avaliações na região do infravermelho. Apresentam como principal vantagem ser de baixo custo, quando comparado com outros equipamentos mais modernos. Entretanto, caracteriza-se pela lenta digitalização de um espectro, visto que somente uma pequena fração de frequência é detectada por unidade de tempo, além disso, com a periodicidade de utilização ocorre a redução da precisão, em razão da quantidade de elementos móveis, os quais são acionados mecanicamente, causando fadiga mecânica (PASQUINI, 2003). Visando solucionar os inconvenientes dos modelos dispersivos, foram desenvolvidos espectrofotômetros que utilizam interferômetro em vez de redes de difração (VIANA, 2008).

O primeiro interferômetro, de duplo feixe, foi desenvolvido no final do século 19 pelo físico Albert Abraham Michelson, sendo denominado de interferômetro de Michelson. Esse equipamento, resumidamente, divide o feixe de radiação em dois feixes de potência aproximadamente iguais e depois os mesmos são recombinados por um divisor de feixe. No entanto, somente com o emprego da transformada em Fourier, o que ocorreu com o advento da computação, é que houve a generalização dos métodos espectroscópicos (SKOOG *et al.*, 2002; PASTORE, 2004).

De acordo com Skoog *et al.* (2002) e Pastore (2004) a transformada de Fourier é o processo matemático em que o interferograma (intensidade no domínio do tempo), registro da energia da fonte modulada pelo interferômetro, é modificado para espectro (intensidade no domínio da frequência), idêntico ao obtido com o emprego da espectroscopia no infravermelho convencional dispersiva. Por meio dessa transformação, se teve um aumento significativo na sensibilidade da espectroscopia na região do infravermelho, provocando o surgimento das técnicas de reflexão, principalmente, as de refletância total atenuada (ATR – *Attenuated Total Reflectance*) e difusa (DRIFT – *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform*), além da espectroscopia fotoacústica (PAS – *Photoacoustic Spectroscopy*), as quais são as mais apropriadas para o estudo de superfícies.

Um espectrofotômetro com transformada em Fourier é dividido basicamente em três componentes: o interferômetro de Michelson, a fonte e o detector. Por sua vez, o interferômetro de Michelson é subdividido em outras três partes: divisor de feixes (*beamsplitter*), espelho fixo e espelho móvel.

Na Figura 4.11 verifica-se um desenho esquemático do interferômetro de Michelson, em que a radiação infravermelha emitida pela fonte passa pelo *beamsplitter*, que direciona um feixe para o espelho fixo e outro para o espelho móvel, sendo a radiação refletida pelos espelhos recombinada novamente no *beamsplitter* (SKOOG *et al.*, 2002; BRAGA, 2004).

O emprego das técnicas de espectroscopia na região do infravermelho tem apresentado grande

inserção na área florestal, em especial da tecnologia da madeira, como ferramenta potencial nas avaliações de qualidade da madeira e de seus subprodutos (HEIN, 2008).

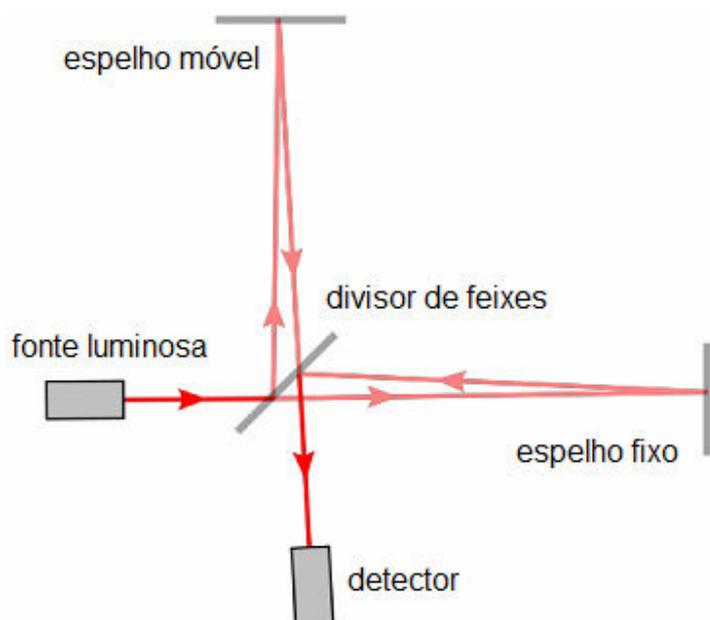


Figura 4.11 Desenho esquemático de um interferômetro de Michelson. Fonte: Adaptado de Wikipedia (2011).

Motivações para o uso da tecnologia de espectroscopia na região do infravermelho em laboratórios analíticos incluem a rapidez de análises, simplicidade de procedimento, e melhor repetibilidade em comparação ao tradicional método de análises químicas. Outras vantagens que podem ser citadas são a não utilização de quaisquer substâncias químicas e a quase total independência de erros do operador (MAGALHÃES *et al.* 2005; FREER *et al.*, 2003).

A espectroscopia na região do infravermelho é fundamentada no fato de que as ligações químicas, presentes num determinado material, possuem frequências de vibrações específicas, desse modo apresentam estreita relação com as propriedades químicas. Nesse sentido, o emprego da espectroscopia no infravermelho, em especial na região do infravermelho médio e próximo, pode ser realizado para avaliação de propriedades da madeira que apresentem relação ou dependência com as características químicas, tanto do ponto de vista estrutural quanto de composição.

A região do infravermelho médio caracteriza-se por apresentar informações que são utilizadas na caracterização funcional de compostos orgânicos. Na região do *fingerprint* entre 1200 a 700 cm^{-1} , denominada de região de impressão digital, pequenas diferenças na estrutura e constituição de uma molécula resultam em mudanças significativas na distribuição das bandas. Em consequência, uma semelhança estreita entre dois espectros neste *fingerprint* constitui-se em forte evidência da identidade dos compostos que produziram os espectros. A maioria das ligações simples provoca bandas de absorção nessas frequências; como as suas energias são semelhantes, interações fortes ocorrem entre ligações vizinhas. As bandas de absorção são assim compostas por essas várias interações e dependem da estrutura geral da molécula. A interpretação exata dos espectros nem sempre é possível por causa da complexidade; por outro lado é essa complexidade que conduz à individualização e à consequente utilidade dessa região espectral para propósitos de identificação final (SKOOG *et al.*, 2002).

Estudos relativos a tecnologia da madeira tem demonstrado a viabilidade da técnica de espectroscopia na região do infravermelho médio na predição do rendimento em polpação (FREER *et al.*, 2003; RUIZ *et al.*, 2005; JÄÄSKELÄINEN *et al.*, 2003), da massa específica (VIA *et al.*, 2011, FREER *et al.*, 2003; NUOPPONEN *et al.*, 2006; GONZÁLEZ-PEÑA; HALE, 2011; RUIZ *et al.*, 2005; MEDER *et al.*, 1999), da composição química (NUOPPONEN *et al.*, 2006; GONZÁLEZ-PEÑA; HALE, 2011; KARAMAN, 2008; MEDER *et al.*, 1999), das propriedades mecânicas (SANDAK *et al.*, 2010; SALMÉN; BERGSTRÖM, 2009; GONZÁLEZ-PEÑA; HALE, 2011); da orientação fibrilar (SALMÉN *et al.*, 2012), do teor de umidade (GONZÁLEZ-PEÑA; HALE, 2011), do potencial combustível da madeira (DZIURZYNSKI, 2009).

A espectroscopia no infravermelho médio também tem apresentado boa empregabilidade na distinção de materiais heterogêneos como: discriminação de madeiras carbonizadas de diferentes espécies (DAVRIEUX *et al.*, 2010; LABBÉ *et al.*, 2006); madeira natural e fossilizada (UÇAR *et al.*, 2005); folhosas e coníferas (BARKER; OWEN, 1999) madeiras arqueológicas (PUCETAITE, 2012; SANDAK *et al.*, 2009); madeiras intemperizadas (PASTORE, 2004); madeiras tratadas termicamente (GOUVEIA, 2008); madeiras deterioradas por fungos apodrecedores (COSTA, 2009; SCHWARNNINGER *et al.*, 2004;

PANDEY; NAGVENI, 2007; PANDEY; PITMAN, 2003; FACKLER *et al.*, 2010)

Pastore (2004) e Moore; Owen (2001) citam que dentre as técnicas de reflexão a DRIFT é a mais empregada em estudos de superfícies de madeira, visto que, por exemplo, em relação a ATR não é necessário o estabelecimento de um eficiente contato ótico entre a superfície do cristal e da amostra ensaiada. No entanto, Mohebbi (2005) e Anderson *et al.* (1991) citam que um dos inconvenientes do DRIFT é a necessidade de preparação da amostra, visto que anomalias, resultantes da refletância especular da madeira, podem causar falsas atribuições de bandas. Anderson *et al.* (1991) sugeriram a diluição da madeira moída em matriz não-absorvedora, como no caso do KBr, ou o emprego de bloqueador metálico sobre a superfície da madeira e o aumento de sua rugosidade, como formas de minimizar a componente especular do espectro obtido por DRIFT.

Entretanto, Pastore (2004); Gouveia (2008) e Costa (2009) não descartam a viabilidade de emprego da espectroscopia DRIFT como ferramenta de análise na superfície de blocos de madeira, de modo a evitar erros operacionais na preparação de amostras.

4.4 COLORIMETRIA

A cor de um material é a sensação oriunda do percentual de luz, na região visível do espectro, incidente sobre a retina (olho humano). A região do visível é considerada como sendo o intervalo do espectro eletromagnético que compreende os comprimentos de onda de luz entre 400 a 700 nm (BILLMEYER JUNIOR; SATZMAN, 1981).

Carneiro (2008), Gonzalez (1993) e Billmeyer Junior; Satzman (1981) citam que a cor de um determinado material é uma decorrência da radiação eletromagnética incidente sobre o mesmo, em que parte dos comprimentos de ondas são absorvidos e outra parte refletidos, sendo esses últimos que irão caracterizar a cor. A faixa de comprimentos de ondas na qual um material reflete pode ser facilmente relacionada às cores do espectro da luz visível, como ilustrado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Cores do espectro da luz visível. Fonte: Adaptado de Carneiro (2008).

Coloração	Comprimento de onda
Vermelho	625-740 nm
Laranja	590-625 nm
Amarelo	565-590 nm
Verde	500-565 nm
Ciano	485-500 nm
Azul	440-485 nm
Violeta	380-440 nm

As variações existentes entre as cores estão associadas a três propriedades: a tonalidade ou matiz, que corresponde ao comprimento de onda peculiar de uma cor; a saturação ou cromaticidade, que é a medida de pureza ou intensidade de uma cor; a luminosidade ou claridade, que corresponde à graduação de claridade ou obscuridade de uma cor (BILLMEYER JUNIOR; SATZMAN, 1981; MELCHIADES; BOSCHI, 1999).

Para que exista a cor, é necessária a presença de três variáveis importantes: da fonte luminosa, do objeto e do observador. A atribuição de uma determinada cor, apenas, pela análise visual de um objeto é subjetiva, visto que a mesma pode diferenciar de acordo com o observador e a fonte de luminosidade. Para contornar essa subjetividade foram desenvolvidos métodos comparativos e quantitativos de medição de cores.

Dentre os métodos comparativos pode-se destacar o atlas de cores, baseado no sistema de Munsell, como um dos mais difundidos. Silva (2004) cita que o sistema de Munsell consiste em uma coleção de páginas de tonalidade constante, com linhas de luminosidade constantes e decrescentes para baixo e cromaticidade crescente da esquerda para a direita. As tonalidades são indicadas pelos primeiros caracteres do código variando numericamente de 0 a 10, a medida que aumenta a tonalidade a numeração é crescente, e acompanhadas de uma ou duas letras (Y – amarelo; R – vermelha; G – verde; B – azul; P – púrpuro) (GONÇALEZ *et al.*, 2001).

O sistema de Munsell tem como principais características a estrutura lógica, a conformidade com a percepção visual em termos de diferenças, uma notação não ligada ou limitada por amostras existentes e a possibilidade de seleção de combinações harmônicas (SILVA, 2004).

Apesar de seu amplo e facilitado uso, sem necessidade de instrumentação, apresenta desvantagens como, no caso em que diferentes observadores podem obter pequenas diferenças de resposta da cor de um mesmo objeto. Nesse sentido, para o controle de qualidade industrial e pesquisas científicas, é necessário o uso de uma técnica mais eficaz, como o caso da colorimetria a qual difere do sistema de Munsell por ser uma técnica quantitativa e não subjetiva (GONÇALEZ *et al.*, 2001).

A colorimetria é definida como sendo o ramo da ciência (física ótica e geométrica) que tem por objetivo a medição de cores. Segundo Gonzalez (1993) a quantificação das cores, ao empregar variáveis numéricas para as interações provocadas pela luz numa superfície, foi desenvolvida com a finalidade de evitar a confusão atribuída a diversidade de sensações psicofísicas ao se determinar as cores de objetos. Existem dois tipos principais de instrumentos para medição da cor: os espectrofotômetros e os colorímetros.

Os colorímetros funcionam com três a quatro filtros de banda larga que correspondem aos filtros tristímulos (Xa e Xb – vermelho; Y – amarelo/verde; Z – azul) e empregam o iluminante C (média da luz do dia) como fonte luminosa normalizada. Os valores das medidas tricromáticas (X, Y e Z) são obtidos diretamente e expressos em diferentes sistemas colorimétricos (GONÇALEZ, 1993). De acordo com ITG (2010) até recentemente os colorímetros eram preferidos aos espectrofotômetros devido ao seu baixo custo de fabricação e portabilidade. Hoje, com o avanço da tecnologia, os espectrofotômetros se tornaram portáteis e com uma grande redução em seu custo, com os colorímetros perdendo as vantagens competitivas que existiam no passado. A principal limitação dos colorímetros, quando comparado aos espectrofotômetros, é de não permitirem a resolução espectral (quociente entre o valor de um dado comprimento de onda e a diferença entre os comprimentos de onda medidos antes e depois desse valor médio) da cor do objeto, em razão da ausência de dados de refletância espectral.

ITG (2010) cita que os espectrofotômetros de refletância medem o montante de luz refletida por uma superfície como uma função de comprimento de onda para produzir o espectro de refletância. O espectro de refletância de uma amostra pode ser usado em conjunto com a

função do observador padrão a 2° ou 10° (equivalente a visualização de uma pequena área de 1,7 mm ou 8,8 mm a uma distância do comprimento de um braço – 50 cm) e a distribuição relativa da energia espectral do iluminante, para calcular os valores tristímulo (X, Y e Z).

O funcionamento de um espectrofotômetro consiste basicamente em iluminar uma determinada amostra com luz branca e calcular o montante de luz que é refletido em cada intervalo do comprimento de onda. Tipicamente os dados são medidos para 31 intervalos de comprimento de onda centrados em 400 nm, 410 nm, 420 nm, até 700 nm. Para tal, passa-se a luz refletida através de filtros de interferência ou de grade de difração que dividem a luz em intervalos separados de comprimentos de onda. O instrumento é calibrado usando-se uma cerâmica branca cuja refletância em cada comprimento de onda seja conhecida e comparada a uma superfície que permita uma perfeita difusão. A refletância de uma amostra é expressa entre 0 e 1 (como uma fração) ou entre 0 e 100 (como uma percentagem). É importante compreender que os valores de refletância obtidos são valores relativos e, para amostras não fluorescentes, são independentes da qualidade e quantidade de luz usada para iluminar a amostra (ITG, 2010).

A partir dos valores tristimulares (X, Y e Z) foram desenvolvidos diversos sistemas para medição e quantificação da cor, dentre os quais pode-se destacar o sistema CIELab, como a ferramenta mais empregada em espectrofotômetros (GONÇALEZ *et al.*, 2001).

O sistema CIELab é recomendado pela CIE (*Comission International de L'Eclairage*) e caracteriza-se por ser um método que define a sensação da cor baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade (BILLMEYER JUNIOR; SALZMAN, 1981; CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001). Este sistema permite a especificação de percepções de cores em termos de um espaço tridimensional (L^* , a^* e b^*), conforme se verifica na Figura 4.12.

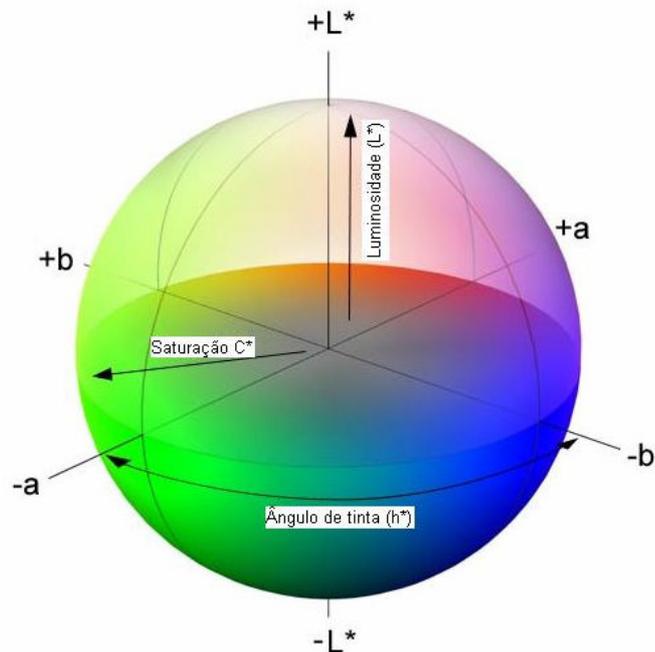


Figura 4.12 Sistema de coordenadas de cores CIELab. Fonte: Adaptado de Color Models (2011).

A luminosidade ou claridade é representada pela coordenada L^* que define a escala cinza entre o branco e o preto, com valores de 0 a 100, em que 0 é preto absoluto e 100 é branco total.

A tonalidade ou matiz é expressa pelas cores primárias vermelho, verde, azul e amarelo, as quais são representadas por duas coordenadas cromáticas. A coordenada cromática a^* corresponde à posição do ponto de cor sobre o eixo verde-vermelho, assumindo um valor entre 0 e 60. Por sua vez, a coordenada cromática b^* corresponde à posição do mesmo ponto de cor sobre um eixo azul-amarelo, em posição retangular com o eixo verde-vermelho dentro do plano da cor, assumindo também valores entre 0 e 60.

Adicionalmente, a tonalidade pode ser obtida pelo ângulo de tinta, o qual é representado pela variável h^* , sendo derivado dos parâmetros a^* e b^* e variando entre 0 e 60.

Com relação à saturação ou cromaticidade, representada pela variável C , a mesma é designada

como sendo o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo L^* , em que quanto mais distante do eixo, mais saturada (livre da mistura de branco) será a cor.

A direção da diferença de cor, entre uma amostra e a referência, no espaço tridimensional é descrito pela magnitude e o sinal algébrico das coordenadas L^* , a^* e b^* (Equações 4.3, 4.4 e 4.5).

$$\Delta L^* = L_a^* - L_b^* \quad (4.3)$$

$$\Delta a^* = a_a^* - a_b^* \quad (4.4)$$

$$\Delta b^* = b_a^* - b_b^* \quad (4.5)$$

Em que: L_a^ , a_a^* e b_a^* são referentes a amostra em ensaio, e L_b^* , a_b^* e b_b^* são referentes a amostra padrão (referência).*

Assim, valores de ΔL^* , Δa^* e Δb^* positivos indicam que a amostra em estudo é mais clara, avermelhada e amarelada, respectivamente, do que o padrão. Já os valores negativos dos mesmos parâmetros significam que a amostra é mais escura, esverdeada e azulada, respectivamente, do que o padrão.

Hunter (1975) e Kowaliski (1978) afirmam que uma das principais vantagens do sistema CIELab é de permitir a mensuração da cor dos objetos de maneira mais uniforme. Nesse sentido, o emprego da colorimetria, por meio do sistema CIELab, vem sendo amplamente utilizada para definir parâmetros para identificação de espécies e indicações em usos finais da madeira (CAMARGOS, 1999; CORE, *et al.*, 1979). Além disso, deve-se ressaltar a viabilidade da técnica na classificação da qualidade da madeira (MORI *et al.*, 2004), como por exemplo, o agrupamento de madeiras com propriedades mecânicas (MOYA; MARÍN, 2011) e físicas (NISHINO, 2000) similares.

De acordo com Mori *et al.* (2005) o padrão de coloração de uma madeira pode variar em tonalidades que vão desde o bege claro até o marrom escuro, quase preto. Dentro dessa variação existem madeiras amareladas, avermelhadas, arroxeadas e alaranjadas. Segundo Mady (2000) e Fengel; Wegener (1984), a cor da madeira deriva da composição química das substâncias presentes no xilema: taninos, fenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas e

polifenóis.

As características gerais (textura, grã e figura) e seus planos de orientação (transversal, longitudinal-tangencial e longitudinal-radial) também influenciam diretamente na cor da madeira (CAMARGOS, 1999; SULLIVAN, 1966).

Gonzalez (1993), resumiu a importância de determinar a cor da madeira sob três pontos de vista:

- a) Como ciência florestal (visando uma seleção futura) - esse parâmetro traz um melhor conhecimento da madeira. O estudo dos fatores que influenciam a cor permite melhor conhecer as espécies, sua silvicultura, sua composição química, sua anatomia, a estrutura do seu plano lenhoso (vasos, raios, parênquimas e fibras) e sua origem geográfica.
- b) No domínio tecnológico - a cor permite uma classificação e uma triagem objetiva das madeiras serradas e laminadas com ajuda das coordenadas cromáticas, obtendo-se, por exemplo, produtos de qualidade mais homogêneos.
- c) Econômico - na Europa, o preço do m³ da madeira pode variar de 1 a 5 vezes, de acordo com a espécie e as árvores de origem, que estão relacionados ao aspecto final da lâmina de madeira, onde a cor sobressai de forma preponderante.

Na indústria madeireira, a cor de seus produtos está diretamente relacionada à tendência da moda ou com a finalidade do seu uso, como na produção de móveis, na produção de lâminas faqueadas para superfícies ou painéis e na fabricação de instrumentos musicais. Diversas madeiras são classificadas de acordo com suas cores. Desse modo produtores de artefatos de madeira estão sempre se confrontando com a problemática da variação dessa propriedade (VETTER, 1988).

Além da diversidade de suas características intrínsecas (químicas e anatômicas), a madeira pode apresentar alteração da cor em razão de efeitos externos. Sendo assim, diversos estudos têm apresentado a viabilidade da colorimetria na caracterização da madeira submetida ao intemperismo natural ou artificial (MARTINS *et al.*, 2011; PANDEY, 2005; SHARRATT, 2009), às diferentes condições de secagem (SUNDQVIST, 2002, KEEY, 2005; TOVAR *et al.*,

2009), aos diferentes tratamentos térmicos (GOUVEIA, 2008; UNSAL *et al.*, 2003; MITSUI *et al.*, 2001; OLIVEIRA, 2009) e a diferentes produtos de acabamento (SILVA; PASTORE, 2004; VALVERDE; MOYA, 2010).

Da mesma forma, a ação de organismos xilófagos, em especial os fungos apodrecedores, causam alterações nos diferentes parâmetros colorimétricos da madeira e de seus subprodutos (MORAIS; COSTA, 2007; HUMAR *et al.*, 2006; NISHINO *et al.*, 1998; ALMEIDA *et al.*, 2012). De acordo com Costa (2009) e Kokutze *et al.* (2006) tais modificações são dependentes do tipo de fungo apodrecedor, em razão da diversidade de ataque aos constituintes químicos da madeira.

Cui *et al.* (2004) citam que por meio de medições instrumentais da variação total da cor (ΔE) é possível determinar cinco diferentes níveis de percepção da cor, conforme Tabela 4.6.

Tabela 4.6 Classificação da variação total da cor (ΔE) de madeiras.

Variação total da cor (ΔE)	Classificação colorimétrica
0 - 0,5	Percepção inexistente
0,5 - 1,5	Levemente perceptível
1,5 - 3,0	Notável
3,0 - 6,0	Apreciável
6,0 - 12,0	Muito apreciável

4.5 ENSAIOS DE DUREZA

Dentre os ensaios mecânicos para caracterização de um material, o teste de dureza é um dos mais importantes e difundidos, devido a três fatores de relevância: a) a propriedade de dureza é extremamente sensível as alterações das características estruturais e químicas de um material; b) o ensaio é rápido; c) o equipamento empregado (durômetro) é de baixo custo e fácil manuseio.

Moreschi (2010) cita que a dureza pode ser definida como a resistência requerida para um corpo sólido penetrar em outro por meio de esforço, ou como a resistência oferecida pelo material testado à penetração de um certo dispositivo (agulha, esfera, cilindro, dentre outros).

Desse modo, mede-se a profundidade ou o tamanho da impressão relacionando a um número, índice de dureza. Assim, quanto mais macio for o material, maior e mais profunda será a impressão e menor será o índice. Os valores da dureza são relativos, dependendo, assim, do tipo de técnica utilizada.

A ciência da mecânica dos materiais tem por objetivo relacionar a dureza às propriedades mais fundamentais, como módulo de elasticidade, resistência à ruptura, início da deformação plástica e escoamento plástico (STACHURSKI, 2006). Segundo o mesmo autor, dependendo da relação do estresse aplicado a resistência do material, a deformação resultante de um ensaio de dureza pode ser elástica ou uma deformação permanente que pode ser frágil ou dútil.

Os principais métodos de medição da dureza nos materiais podem ser divididos em dois grupos: o primeiro grupo é caracterizado por medir a força necessária à penetração de uma peça - uma esfera, por exemplo - com deformação previamente especificada. O segundo grupo é caracterizado por medir a deformação (penetração) causada por um instrumento com dimensão e carga de penetração pré-estabelecidos (COLENCI, 2006).

A caracterização da dureza de um material pode ser obtida por diferentes tipos de ensaios: a) Por risco= dureza de Mohs e Bierbaum; b) Por choque ou ressalto= dureza de Shore; c) Por penetração= dureza de Brinell, Rockwell, Vickers, Meyer, Knoop e Janka.

Dentre os ensaios por penetração, o desenvolvido por Stanley Rockwell em 1922, o qual leva em sua nomenclatura o sobrenome, se destaca por ser o mais utilizado no mundo em razão da rápida leitura do resultado e da impressão que pode muitas vezes não danificar a peça que está sendo ensaiada. Neste ensaio a carga é aplicada em duas etapas: a) numa primeira etapa se aplica uma pré-carga, valores de 10 kgf (ensaio de dureza normal) ou 3 kgf (ensaio de dureza superficial) para garantir um contato firme entre o penetrador e o material ensaiado (etapa “a” e “b” da Figura 4.13); b) posterior a primeira etapa, se aplica a carga do ensaio (etapa “c” e “d” da Figura 4.13), propriamente dita, a qual varia, no ensaio de dureza normal, de 60, 100 e 150 kgf ou 15, 30 e 45 kgf para o ensaio de dureza superficial.

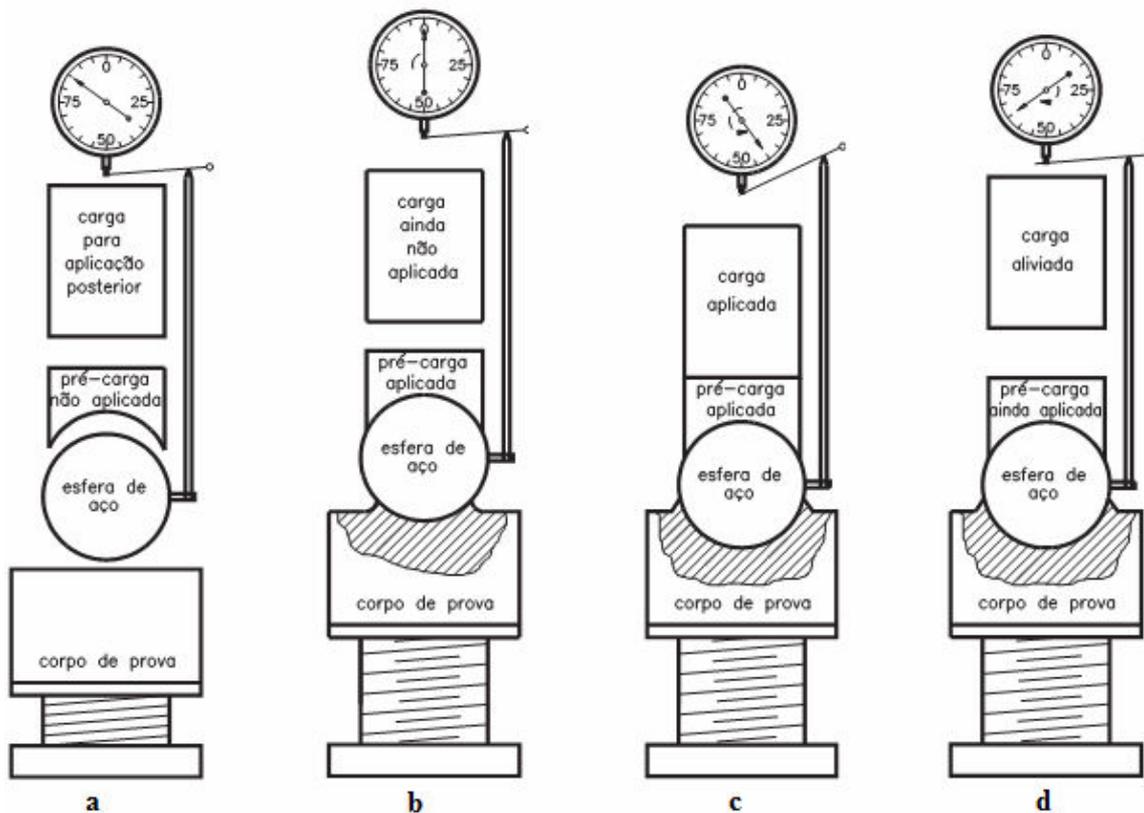


Figura 4.13 Desenho esquemático das etapas do ensaio de dureza Rockwell.

De acordo com Garcia *et al.* (2000) a pré-carga além da função de contato entre a amostra e o penetrador tem outras duas funções importantes: a) evitar/minimizar eventuais distorções de resultados em razão de defeitos superficiais; b) proporcionar uma pequena deformação, permanente, de modo a evitar/minimizar os erros ocasionados pela deformação elástica.

Os penetradores utilizados nos ensaios de dureza Rockwell podem ser de dois modelos (Figura 4.14): esférico (esfera de aço temperado) ou cônico (cone de diamante com 120° de conicidade). Em ambos os modelos, os diâmetros dos penetradores podem variar entre 1/16, 1/8, 1/4 e 1/2 polegadas.

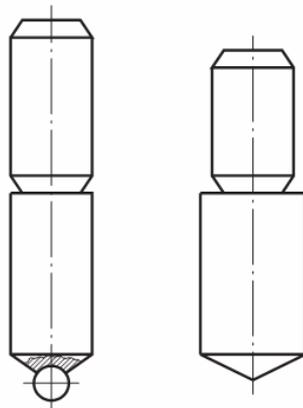


Figura 4.14 Modelos de penetradores esférico e cônico empregados nos ensaios de dureza Rockwell.

A profundidade da impressão produzida pela carga maior é a base de medida do ensaio de Rockwell. Ao remover a carga se tem uma recuperação parcial da profundidade, sendo essa última influente na dureza. A leitura do grau de dureza é realizada diretamente no mostrador acoplado à máquina de ensaio, de acordo com uma escala predeterminada, adequada à faixa de dureza do material (TREVISAN, 2007).

As escalas de leitura da dureza são dadas em razão do tipo de penetrador e do valor da carga final empregados. De acordo com Trevisan (2007) as escalas não possuem correlação entre si. Desse modo a comparação da dureza de um determinado material com outro só é válida dentro de uma mesma escala, apesar do ensaio ser o mesmo.

Colenci; Ballarin (2008) citam que dentre as propriedades que caracterizam a resistência da madeira, a dureza revela suas potencialidades e pode ser utilizada como ferramenta na caracterização das espécies florestais. De acordo com Moreschi (2010) a dureza da madeira é uma propriedade importante para aparelhos de esporte, entalhes e assoalhos, sendo, em geral, indicadora da trabalhabilidade da madeira.

Na madeira, em particular, utiliza-se a dureza Janka que avalia a resistência oferecida pelo material à penetração superficial de uma esfera de aço, com seção diametral de 1 cm², a qual é introduzida até a metade do seu diâmetro. Assim, nesse caso, se fixa a profundidade de penetração da esfera na madeira e avalia-se a força necessária para tal esforço (COLENCI,

2002). Outro método que tem sido sugerido é o de Brinell que consiste em avaliar a área endentada pela penetração de uma esfera por uma força pré-estabelecida (COLENCI, 2006).

Moreschi (2010) cita que a grande dificuldade na avaliação da dureza pelos métodos supracitados acima, é a influência do percentual de lenhos inicial e tardio e as tensões, fricções e rupturas de cisalhamento produzidas na peça de madeira ensaiada, causando ampla variação dos resultados. Outro ponto a ser destacado em relação ao ensaio de Brinell é a imprecisão na avaliação da área endentada devido às propriedades visco-elásticas da madeira, visto que ao aplicar uma deformação elástica, parte da mesma é recuperada (MELO; DEL MENEZZI, 2010).

Com relação ao ensaio de Rockwell, pode-se destacar duas vantagens que o tornam interessante na aplicação em madeiras: a) maior exatidão e isenção de erros, já que não exige leitura do tamanho da impressão; b) pequeno tamanho da impressão, evitando fraturas nas amostras. Além disso, para ensaios com amostras de madeiras atacadas por microrganismos fúngicos tem-se como principal vantagem a não necessidade de equalização superficial, visto que com o emprego da pré-carga pequenas irregularidades são eliminadas/minimizadas.

4.6 MOLHABILIDADE

De acordo com Berg (1993) a conceituação do fenômeno de molhabilidade pode ser definida como sendo as manifestações macroscópicas de interações moleculares entre líquidos e sólidos em contato direto na interface. De outro modo, pode-se definir a molhabilidade como sendo a facilidade e/ou eficiência em que um determinado líquido apresenta de espalhar-se quando em contato com uma superfície sólida. As manifestações macroscópicas envolvidas podem ser divididas em: a) formação de um ângulo de contato Θ (theta) na interface sólido/líquido/vapor; b) espalhamento de um líquido sobre a superfície de um sólido; c) absorção do líquido na superfície do sólido.

De acordo com Wålinder (2000), na definição de molhabilidade não incluem a dissolução ou inchamento do sólido pelo líquido ou qualquer tipo de reação química entre os materiais. Sua

caracterização pode ser obtida mediante três parâmetros termodinâmicos: ângulo de contato, energia livre de superfície (tensão superficial) e trabalho de adesão.

É importante salientar que a compreensão dos fenômenos de molhabilidade deve, no entanto, ser atribuída à origem e natureza das forças intermoleculares. Nesse sentido, uma abordagem mais ampla das teorias fundamentais e conhecimentos básicos sobre as forças intermoleculares e os fenômenos de molhabilidade podem ser encontrados em Lee (1991), Mittal; Anderson (1991), Van Oss (1994), Good (1993) e Berg (1993).

O trabalho de adesão é definido como sendo o trabalho necessário para separar determinada unidade de área da interface sólido-líquido e aplicado por meio da Equação 4.6 de Dupré (1896):

$$W_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL} \quad (4.6)$$

Em que: W_{SL} = trabalho necessário no rompimento de área sólido/líquido ($mJ.m^{-2}$); γ_S = tensão superficial do sólido ($mJ.m^{-2}$); γ_L = tensão superficial do líquido ($mJ.m^{-2}$); γ_{SL} = tensão interfacial sólido/ líquido ($mJ.m^{-2}$).

De acordo com Neumann; Good (1979) a medição do ângulo de contato de um líquido sobre um material sólido é considerado o método mais apropriado, e amplamente empregado, para caracterização da molhabilidade, em especial para madeiras.

O ângulo de contato Θ (theta) pode ser definido como sendo o ângulo formado entre a tangente da superfície do líquido e da superfície líquido/sólido em um ponto de contato líquido/sólido (Figura 4.15).

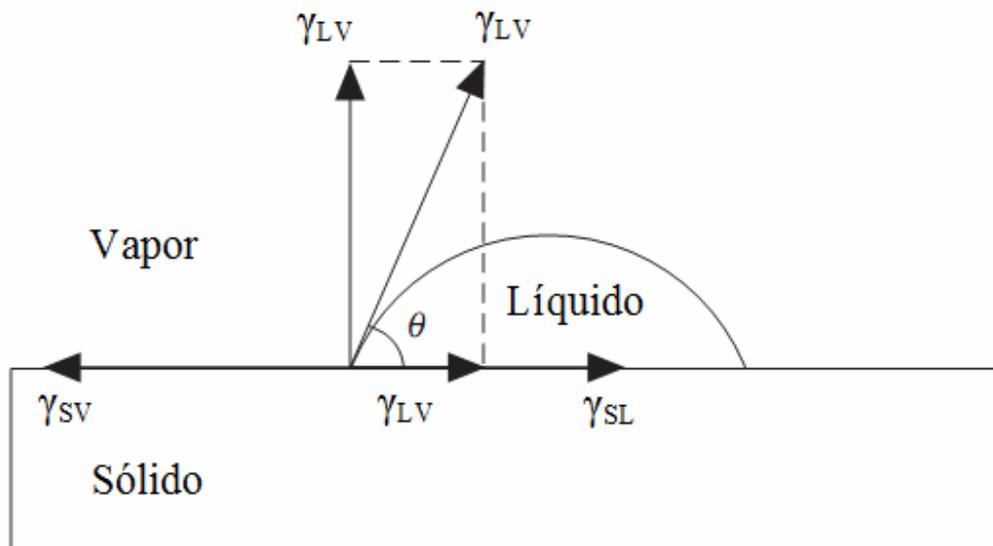


Figura 4.15 Esquema ilustrativo da medição do ângulo de contato. Fonte: Adaptado de Wålinder (2000).

Young (1805) desenvolveu uma relação entre a tensão de superfície de um líquido e um sólido, a tensão interfacial entre o sólido e o líquido, e o ângulo de contato Θ de uma gota de líquido depositada em uma determinada superfície horizontal (Equação 4.7).

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cdot \cos \theta \quad (4.7)$$

Em que: γ_{SV} = tensão interfacial sólida/vapor ($mJ.m^{-2}$); γ_{LV} = tensão interfacial líquido/vapor ($mJ.m^{-2}$); γ_{SL} = tensão interfacial sólido/ líquido ($mJ.m^{-2}$); Θ = ângulo de contato ($^{\circ}$).

Por meio da combinação entre a Equação 4.6 de Dupré (1986) e a Equação 4.7 de Young (1805) obtém-se a Equação 4.8 de Dupré-Young.

$$W_{SL} = \gamma_{LV} (1 + \cos \theta) \quad (4.8)$$

Em que: W_{SL} = trabalho necessário no rompimento de área sólido/líquido ($mJ.m^{-2}$); γ_{LV} = tensão interfacial líquido/vapor ($mJ.m^{-2}$); Θ = ângulo de contato ($^{\circ}$).

De acordo com Cruz (2006) o modelo de Young (1805) foi estabelecido para superfícies limpas e perfeitamente planas. Contudo, a superfície da madeira apresenta irregularidades intrínsecas ao seu caráter heterogêneo, em destaque a rugosidade e porosidade. Quando uma gota de líquido é depositada sobre uma superfície de madeira, forma-se um ângulo de contato,

entretanto, ao mesmo tempo ocorre a penetração e o espalhamento do líquido (Figura 4.16):

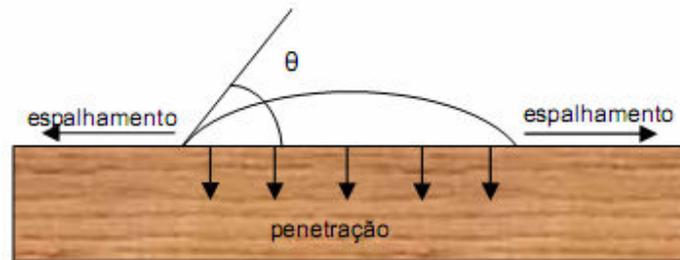


Figura 4.16 Esquema ilustrativo do espalhamento e penetração do ângulo de contato. Fonte: Cruz (2006).

No primeiro momento, o ângulo de contato Θ diminui de forma rápida (fase de espalhamento), entretanto à medida que o período de tempo progride, o ângulo de contato diminui lentamente, por fim entra em equilíbrio (fase de difusão) (CRUZ, 2006).

Brissolari (2008); Oliveira (2009) mencionam que ao depositar uma gota de um líquido sobre a superfície de um sólido, ela pode se espalhar uniformemente sobre toda a superfície sólida como quase um filme fino ou formar uma gota esférica. No caso da gota formar um filme o ângulo de contato Θ será igual a 0 (zero), de modo que a superfície do sólido será classificada como completamente molhada. Entretanto, quando o ângulo de contato é superior a 0 (zero) pode-se definir a superfície do sólido em três categorias (Figura 4.17): molhada ($\Theta < 30^\circ$), parcialmente molhada ($30^\circ < \Theta < 89^\circ$) e não molhada ($\Theta > 90^\circ$).

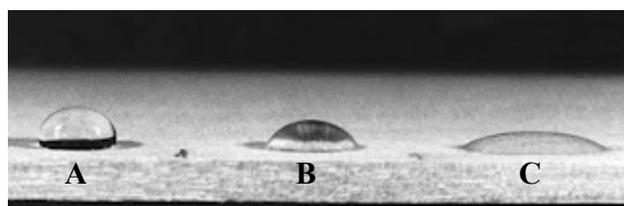


Figura 4.17 Diferenças de molhabilidade (A= não molhada, B= parcialmente molhada e C= molhada) em função do ângulo de contato. Fonte: Adaptado de United States Department of Agriculture - USDA (1987).

Dentre as técnicas de caracterização do ângulo de contato da gota, pode-se destacar a que envolve a medição direta do perfil da gota depositada sobre uma superfície sólida, técnica

conhecida como gota séssil (GRAY 1962; HERCZEG 1965; JORDAN; WELLONS 1977; NGUYEN; JOHNS 1979; LIPTÁKOVA; KÚDELA 1994). Além dessa, pode-se mencionar outras técnicas como o método de Wilhelmy, bolha de ar presa e bolha de ar séssil (BRISSOLARI, 2008; OLIVEIRA, 2009; SCHEIKL; DUNKY, 1998; JOHNSON; DETTRE, 1969).

Oliveira (2009) cita que o ângulo de contato Θ é uma medida simples e de rápida caracterização, de modo a proporcionar respostas macroscópicas quanto a hidrofobicidade ou hidrofiliabilidade de uma determinada superfície de madeira.

No entanto, a medição direta e precisa dos ângulos de contato Θ , mediante técnicas óticas, para determinar as características termodinâmicas de uma determinada superfície é dificultada em razão da heterogeneidade da madeira (WÄLINDER, 2000).

A molhabilidade da madeira é influenciável por alguns fatores: composição química, porosidade, massa específica, teor de umidade, temperatura, rugosidade da superfície, presença de defeitos naturais, tratamentos superficiais e de impregnação da madeira, método de secagem, deterioração natural (BRISSOLARI, 2008; CRUZ, 2006; MANTANIS; YOUNG, 1997; SCHEIKL; DUNKY, 1998; WÄLINDER, 2000; GINDL *et al.* 2004).

De modo geral, a caracterização da molhabilidade, em madeiras, tem sido estudada para otimizar os processos que envolvem a aplicação de produtos/processos de acabamento e a colagem de superfícies (AYRILMIS *et al.*, 2009; ROWELL, 2005; ARNOLD, 2010).

Quando consideradas as influências de fatores externos nas propriedades da molhabilidade, os trabalhos têm focado apenas nos processos de intemperismo natural ou artificial (KALNINS; FEIST, 1993; KISHINO; NAKANO, 2004; BRISSOLARI, 2008), nos tratamentos térmicos (OLIVEIRA, 2009; HAKKOU *et al.*, 2005) e nos métodos de secagem e estocagem (PAYNE *et al.*, 2001).

Apesar do amplo emprego da técnica de gota séssil, não são encontrados estudos relativos a

caracterização de superfícies deterioradas por fungos xilófagos. Entretanto, deve-se destacar que a técnica apresenta grande potencial, em razão da molhabilidade ser uma propriedade de rápida e simples caracterização, de modo a proporcionar resultados quanto a hidrofobicidade ou hidrofiliabilidade de uma determinada superfície de madeira biodeteriorada.

4.7 MARUPÁ – *Simarouba amara*

Simarouba amara Aubl., vulgarmente, conhecida como marupá, é uma espécie pertencente a família Simaroubaceae e no Brasil distribui-se por toda a extensão da Região Amazônica, bem como em alguns estados do Nordeste, Bahia, Ceará e Pernambuco (RIZZINI, 1978).

Na Região Amazônica desenvolve-se tanto em matas de várzea quanto de terra firme, porém atinge maior porte e é mais frequente na primeira, ocasionalmente, pode ser encontrada em capoeiras e savanas de solo arenoso (LOUREIRO, 1979).

Com relação às características dendrométricas, o marupá apresenta fuste cilíndrico com diâmetro de até 80 cm e altura próxima a 35 m, sendo o comprimento de toras comerciais variável entre 5 a 22 m (PAULA; ALVES, 2007; JANKOWSKY *et al.*, 1990).

A madeira caracteriza-se por apresentar coloração branco-amarelada, sendo o cerne e alburno indistintos, bem como os anéis de crescimento. Além disso, configura-se como moderadamente lisa ao tato, com pouco brilho, com grã direita e ausente de figura.

Por ser uma madeira leve e de elevada porosidade, ou seja, de baixa massa específica, próxima a $0,37 \text{ g.cm}^{-3}$ (LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS - LPF, 2012), apresenta boa trabalhabilidade (etapas de beneficiamento secundário) e não é refratária à secagem ao ar livre e em secadores convencionais (JANKOWSKY *et al.*, 1990), entretanto possui baixa resistência mecânica.

Em relação às propriedades biológicas, Marcondes (2011) e Paula; Alves (2007) destacam que a madeira de marupá é suscetível ao ataque de cupins e brocas, bem como por fungos

xilófagos.

De modo geral, o emprego da madeira de marupá se dá em caixotaria para produtos leves, na fabricação de instrumentos musicais, em pequenos objetos de madeira (POM), em revestimentos internos (forros e lambris), além disso apresenta uso potencial na indústria de painéis laminados e de celulose e papel.

4.8 JEQUITIBÁ – *Cariniana micrantha*

Cariniana micrantha Ducke é uma espécie da família Lecythidaceae, sendo vulgarmente conhecida como jequitibá. No Brasil, conforme Paula; Alves (2007), a sua ocorrência natural se dá em florestas de terra firme na Região Amazônica, em que os indivíduos podem atingir altura de até 50 m e o diâmetro superior a 80 cm, sendo o fuste cilíndrico e ereto.

De acordo com Gouveia (2008) a madeira apresenta coloração distinta entre os tipos de lenho, cerne (marrom-avermelhado-claro) e alborno (rosa), grã direita, figura pouco destacada e brilho moderado.

LPF (2012) menciona que o jequitibá caracteriza-se por ser uma espécie de média massa específica ($0,58 \text{ g.cm}^{-3}$), e assim como o marupá é de boa trabalhabilidade e de relativa facilidade quanto à secagem (moderada tendência ao arqueamento, colapso e rachaduras de topo).

Do ponto de vista biológico, quando em condições adversas de uso, a madeira pode ser propensa ao ataque de diferentes organismos xilófagos, em especial fungos xilófagos (RIBEIRO, 2011).

Quanto a empregabilidade da madeira pode-se destacar: caixotaria e carpintaria em geral, painéis laminados, POM, móveis e construção civil (PAULA; ALVES, 2007; RIZZINI, 1978).

4.9 CUMARÚ – *Dipteryx odorata*

Cumarú é o nome vulgar dado à espécie *Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild pertencente a família Fabaceae-Faboideae, a qual apresenta ampla distribuição na Região Amazônica, desde o estado do Acre até o Maranhão (LORENZI, 2009), tanto nas áreas de terra firme quanto de várzea em florestas pluviais.

Dendrometricamente, o cumarú apresenta fuste reto e quase cilíndrico, com dimensões de até 30 m de altura e diâmetro, de aproximadamente, 60 cm (PAULA; ALVES, 2007).

O cerne e alburno são distintos, com coloração de marrom e marrom-muito-pálido, respectivamente, bem como as camadas de crescimento. Caracteriza-se por apresentar grã reverssa, textura média, figura destacada, superfície pouco brilhosa (LPF, 2012).

A madeira é classificada como de alta massa específica ($0,82 \text{ g.cm}^{-3}$), sendo de difícil trabalhabilidade e elevada resistência mecânica. Apesar da secagem lenta, em câmaras convencionais, apresenta pequena propensão a defeitos (JANKOWSKY et al., 1990).

Em razão da toxidez dos constituintes químicos presentes na madeira, apresenta baixa suscetibilidade ao ataque de agentes biológicos (LORENZI, 2009).

Destaca-se o emprego da madeira em produtos de maior valor agregado como, em elementos externos (postes, moirões, dormentes e cruzetas), em construções internas (assoalhos, lambris e forros) e em construções estruturais (vigas, caibros, pontaletes e tábuas).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 COLETA DO MATERIAL E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA

Para realização desse estudo utilizaram-se madeiras de três espécies amazônicas, as quais estão agrupadas em classes distintas, de acordo com classificação estabelecida por Melo *et al.* (1990), baseada na massa específica básica (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 Agrupamento das madeiras de três espécies amazônicas em classes distintas de massa específica básica.

Espécie florestal	Classificação
<i>Simarouba amara</i> Aubl. (marupá)	Baixa massa específica ($\leq 0,5 \text{ g.cm}^{-3}$)
<i>Cariniana micrantha</i> Ducke (jequitibá)	Média massa específica ($0,51 - 0,72 \text{ g.cm}^{-3}$)
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Wild (cumarú)	Alta massa específica ($\geq 0,73 \text{ g.cm}^{-3}$)

De cada espécie foram obtidas, em diferentes estabelecimentos madeireiros do Distrito Federal, seis pranchas (0,04 x 0,25 x 3 m), bem orientadas e livres da presença de defeitos pronunciados. Todas as pranchas foram anatomicamente identificadas na Área de Anatomia e Morfologia da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) - Serviço Florestal Brasileiro (SFB), em Brasília, DF.

As pranchas foram aplainadas com auxílio de uma plaina desengrossadeira, sendo posteriormente confeccionados os corpos de prova, para cada ensaio, na marcenaria do LPF/SFB.

Os corpos de prova para os ensaios de apodrecimento acelerado apresentaram dimensões nominais de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm, sendo a menor dimensão no sentido axial. Logo após a confecção, os corpos de prova foram lixados com lixa de grã 150. De cada uma das seis pranchas obtidas por espécie foram confeccionados 173 corpos de prova, totalizando 1038 por espécie a ser estudada. Desse total, foram avaliados 432 corpos de prova, o restante, foi utilizado como material de reserva em eventuais problemas durante a execução do projeto e para caracterização da composição química.

Para determinação da massa específica básica e porosidade retiraram-se cinco corpos de prova, de cada prancha, 30 ao total por espécie, com dimensões nominais de 2,5 x 2,5 x 10 cm, sendo a maior dimensão no sentido axial.

5.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, POROSIDADE, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL DE RESISTÊNCIA NATURAL

A determinação da massa específica básica e da composição química da madeira das três espécies foi realizada no Laboratório de Química Analítica do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, em Sinop, MT.

Na condição de saturação em água, obtiveram-se as dimensões tangencial, radial e longitudinal dos corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 10 cm, com o auxílio de um relógio comparador e paquímetro digital, ambos com sensibilidade de 0,01 mm. Posteriormente, os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa convencional de circulação forçada de ar a 103±2°C até obtenção de massa constante, esta obtida por meio de monitoramento da perda de massa em balança eletrônica digital de sensibilidade de 0,001 g. Mediante a relação entre massa seca e volume saturado obteve-se a massa específica básica de acordo com a norma NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003) (Equação 5.1).

$$MEbs = \frac{Ms}{Vv} \quad (5.1)$$

Em que: MEbs = massa específica básica (g.cm⁻³); Ms = massa seca (g); Vv = volume verde (cm³).

Por sua vez, para a caracterização da composição química os corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm (material reserva) foram transformados em palitos e, posteriormente, convertidos em serragem, ao empregar moinho de facas do tipo Willey. Em seguida, o material moído foi subdividido em três frações granulométricas, acima de 40 mesh, entre 40/60 mesh e abaixo de 60 mesh, conforme a norma NBR 14660 (ABNT, 2003).

A partir da fração de 40/60 mesh, foram realizadas as análises químicas, em triplicata, por via

úmida (tradicional), para determinação do teor de extrativos, teor de lignina e teor de cinzas, conforme as normas NBR 14853, NBR 7989 e NBR 13999 (ABNT, 2003), respectivamente. Com relação ao teor de holocelulose, o mesmo foi definido como sendo a diferença entre a composição química total e a composição da fração não-carboidrato (Equação 5.2).

$$Thol = 100 - (Text + Tlig + Tcz) \quad (5.2)$$

Em que: *Thol*= teor de holocelulose (%); *Text*= teor de extrativos (%); *Tlig*= teor de lignina (%); *Tcz*= teor de cinzas (%).

De modo complementar, foram determinados a porosidade (Equação 5.3) e o potencial de resistência natural (Equação 5.4), de acordo com Carneiro *et al.* (2009).

$$\Phi = 1 - \frac{MEbs}{MEpc} * 100 \quad (5.3)$$

Em que: Φ = porosidade (%); *MEbs*= massa específica básica ($g.cm^{-3}$); *MEpc*= massa específica da parede celular (considerada como sendo de $1,54 g.cm^{-3}$).

$$Rn = MEbs * Text \quad (5.4)$$

Em que: *Rn*= potencial de resistência natural; *MEbs*= massa específica básica ($g.cm^{-3}$); *Text*= teor de extrativos (%).

5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os corpos de prova de cada uma das três espécies foram submetidos a ensaios de apodrecimento acelerado em laboratório com dois tipos de fungos apodrecedores, sendo um de podridão parda e outro de podridão branca. Desse modo, os tratamentos foram baseados na combinação entre as madeiras das três espécies florestais e os dois tipos de fungos apodrecedores, ao totalizar seis tratamentos, sendo utilizados 144 corpos de prova por tratamento (Tabela 5.2). Adicionalmente, para cada espécie florestal, foram avaliados blocos de correção, com 144 corpos de prova cada.

Para cada tratamento avaliaram-se: as propriedades biológicas (perda de massa); físicas (molhabilidade); psico-físicas (colorimetria); químicas (DRIFT-MIR) e mecânicas (dureza Rockwell).

Tabela 5.2 Delineamento experimental.

Tratamentos	Espécie florestal	Fungo apodrecedor	Corpos de prova
1	<i>Simarouba amara</i>	Podridão branca	144
2		Podridão parda	144
Bloco de correção		Sem fungo	144
3	<i>Cariniana micrantha</i>	Podridão branca	144
4		Podridão parda	144
Bloco de correção		Sem fungo	144
5	<i>Dipteryx odorata</i>	Podridão branca	144
6		Podridão parda	144
Bloco de correção		Sem fungo	144

5.4 ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO

O ensaio de apodrecimento acelerado realizou-se na Área de Biodegradação e Preservação da Madeira do LPF/SFB ao empregar metodologia adaptada da ASTM D 2017 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2005).

Para tanto, foram utilizadas duas espécies de fungos xilófagos provenientes da coleção do próprio LPF/SFB, sendo um de podridão branca (*Trametes versicolor* (L.; Fr.) Pilat), e outro de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum* (Pers.; Fr.) Karte).

5.4.1 Preparo do substrato

O substrato preparado foi acondicionado em frascos de vidro com tampa rosqueável e capacidade de 150 mL em volume líquido.

Nesse sentido, utilizou-se como substrato um latossolo vermelho, de horizonte B, proveniente da Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília. O solo foi analisado, e teve seu pH corrigido para aproximadamente 6,0 utilizando-se calcário dolomítico PRNT (66%), na proporção de 65 g para cada 20 kg de solo. O solo foi peneirado em peneira de 30 mm de abertura para a eliminação de impurezas e quebra dos torrões.

Adicionaram-se, em cada frasco de vidro, 70 g de solo com pH corrigido e 20 mL de água

destilada. Cada frasco de vidro recebeu uma placa suporte de madeira nas dimensões de 0,3 x 2,9 x 3,5 cm de alburno de espécies susceptíveis aos fungos xilófagos (Figura 5.1). Essa placa suporte foi colocada sobre o solo no interior do frasco, ao servir de substrato para o desenvolvimento dos fungos. Em decorrência do fungo *Trametes versicolor* apresentar um melhor desenvolvimento nas folhosas, e o fungo *Gloeophyllum trabeum* nas coníferas, utilizaram-se, respectivamente, placas suporte de *Cecropia* sp. para o fungo de podridão branca e de *Pinus* sp. para o fungo de podridão parda.

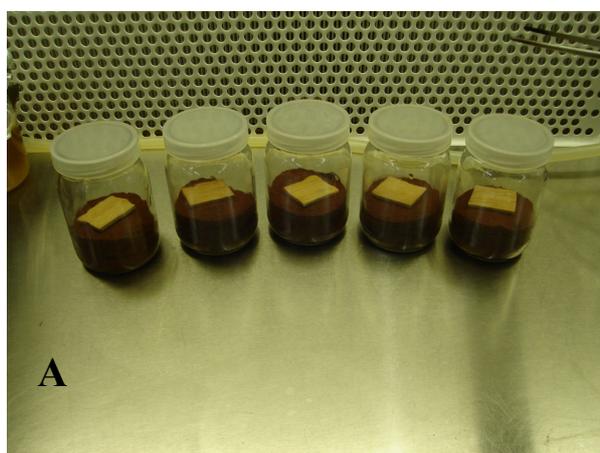


Figura 5.1 Detalhe dos frascos de vidro contendo solo corrigido e placa suporte (A). Câmara climática durante período de incubação dos frascos de vidro (B).

Após a preparação dos frascos, esses foram autoclavados a 120°C e pressão de 1 atm durante 1 h, e posteriormente acondicionados em sala de incubação a temperatura de 27°C e umidade relativa de 70%, durante 10 dias, para avaliação de possíveis contaminações que pudessem afetar os resultados do experimento (Figura 5.1).

5.4.2 Repicagem dos fungos

Durante o período de acondicionamento dos frascos de vidro na sala de incubação, foi efetuada a repicagem dos fungos em meio de cultura líquida. O meio de cultura foi preparado à base de água destilada e extrato de malte, adicionando-se a proporção de 15 g de extrato de malte por 1000 mL de água destilada. Prepararam-se 3000 mL de meio de cultura líquida para a inoculação dos fungos, sendo adicionados 200 mL em cada frasco do tipo erlenmeyer (Figura 5.2). Após a preparação, o meio de cultura foi agitado em liquidificador por um período de aproximadamente 5 min, de modo a proporcionar uma maior homogeneidade, sendo posteriormente realizada a autoclavagem a 120°C e pressão de 1 atm durante 20 min.

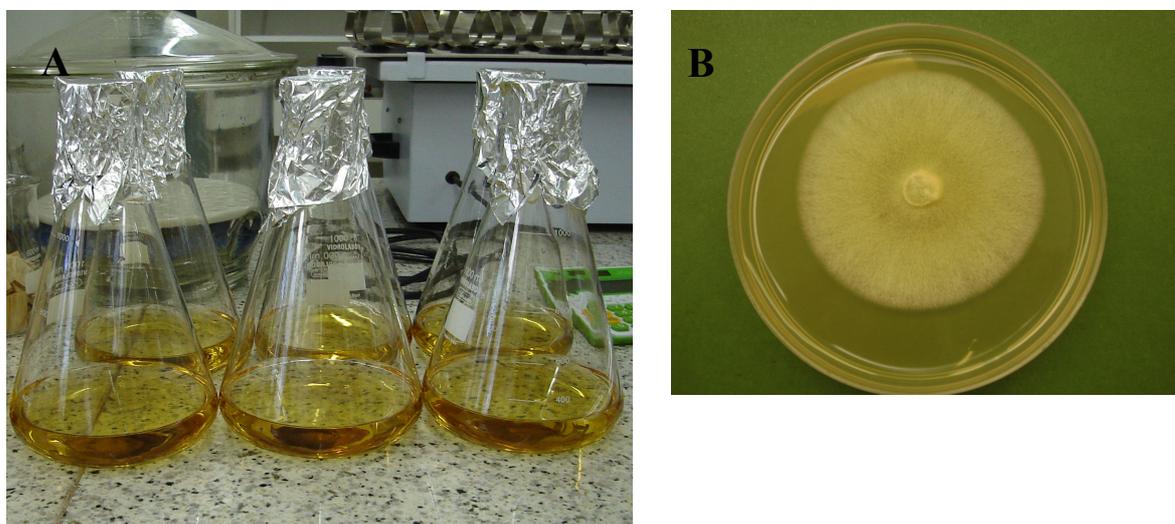


Figura 5.2 Erlenmeyer contendo meio de cultura líquido (A). *Gloeophyllum trabeum* em meio de cultura sólido (B).

A repicagem dos fungos realizou-se assepticamente em capela de fluxo laminar, em que se obtiveram, preferencialmente, inóculos de aproximadamente 1 cm², contendo micélios do fungo, os quais adicionaram-se ao meio de cultura líquida. Os frascos erlenmeyer inoculados

foram encaminhados para uma mesa agitadora, por um período de 48 h, com o propósito de proporcionar a aeração do meio de cultura. A seguir, esses frascos mantiveram-se em sala de incubação a temperatura de 27°C e umidade relativa de 70% por um período de 15 dias, para o completo desenvolvimento do fungo.

5.4.3 Inoculação e incubação dos fungos

Antes da inoculação dos frascos de vidro, o meio de cultura foi transferido para o copo de um liquidificador, devidamente esterilizado, sendo então, levemente batido (Figura 5.3). Este procedimento foi realizado para obtenção de uma distribuição homogênea dos micélios do fungo no meio de cultura.

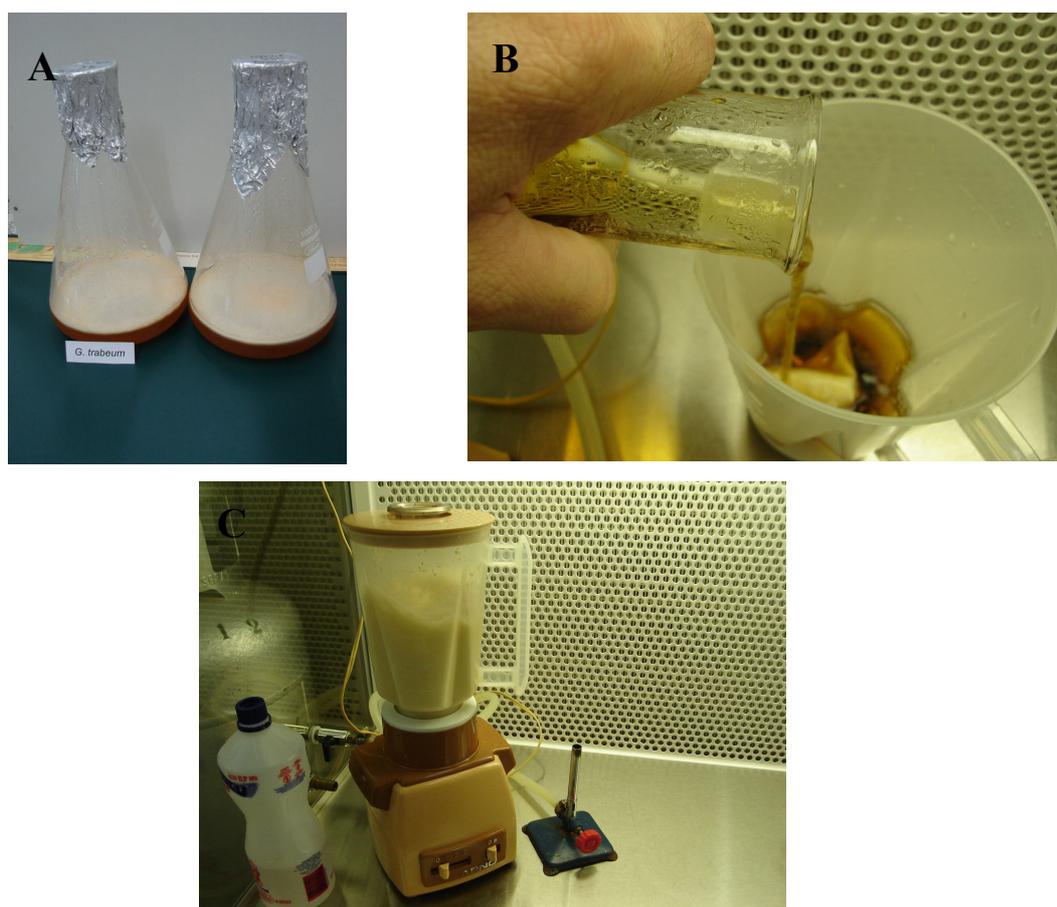


Figura 5.3 Erlenmeyer contendo fungo desenvolvido no meio de cultura (A). Detalhe da transferência do fungo desenvolvido para o liquidificador (B). Detalhe da distribuição homogênea dos micélios no meio de cultura (C).

A inoculação dos frascos de vidro efetuou-se em capela de fluxo laminar, ao empregar um pipetador, com o qual foram distribuídos 3 mL do meio de cultura líquida, contendo micélios de fungo, parte sobre a placa suporte e parte sobre o solo. Depois de inoculados, os frascos retornaram à sala de incubação onde permaneceram por um período de aproximadamente 30 dias, tempo necessário para que os micélios dos fungos pudessem recobrir homogeneamente a superfície do substrato (placa suporte).

5.4.4 Climatização e esterilização dos corpos de prova

Para obtenção da massa inicial, antes do ataque dos fungos, os corpos de prova foram climatizados em estufa a 50°C por um período de 72 h, de maneira a possibilitar que os resultados ao final do ataque dos fungos pudessem ser obtidos nas mesmas condições. Efetuada a climatização, os corpos de prova foram colocados em dessecador contendo sílica gel por aproximadamente 15 min, sendo então determinada a massa inicial, com auxílio de balança eletrônica de sensibilidade de 0,001 g. Antes da inoculação, os corpos de prova foram esterilizados, de modo a eliminar microrganismos cujas ações não fossem avaliadas no experimento. A esterilização efetuou-se em autoclave a temperatura de 100°C por um período de 1 h.

5.4.5 Inoculação dos corpos de prova e período de ataque dos fungos

Nessa etapa, os corpos de prova foram assepticamente introduzidos, com o auxílio de pinça, nos frascos de vidro contendo o fungo. Os corpos de prova foram uniformemente distribuídos sobre a placa suporte, sendo colocado um corpo de prova em contato com o fungo em cada frasco de vidro. Finalizada a inoculação dos corpos de prova, os frascos retornaram à sala de incubação com temperatura e umidade relativa controladas por um período de 20 semanas.

5.4.6 Retirada dos corpos de prova e avaliação dos parâmetros tecnológicos

A cada retirada foram amostrados 12 corpos de prova, por espécie de madeira, submetidos a cada tipo de fungo apodrecedor, totalizando 24 corpos de prova, além de 12 corpos de prova

do bloco de correção. Para tanto, os mesmos foram retirados dos frascos e submetidos à limpeza, com auxílio de escova de cerdas macias, para remoção do excesso de micélios aderidos sobre a superfície da madeira e encaminhados a estufa de circulação forçada de ar a 50°C até obtenção de massa constante.

A periodicidade de amostragem realizou-se semanalmente até a 4ª semana, e posteriormente a cada duas semanas até a 20ª semana. Em cada semana, inclusa uma amostragem inicial (antes dos ensaios de apodrecimento) de 12 corpos de prova, foram determinadas as propriedades biológicas (perda de massa), psico-físicas (colorimetria), físicas (molhabilidade), químicas (DRIFT-MIR) e mecânicas (dureza Rockwell) alteradas pelos microrganismos fúngicos, conforme metodologia descrita a seguir:

5.4.6.1 Perda de massa

O grau de resistência natural de cada corpo de prova foi avaliado, em função da sua perda de massa, sendo essa calculada por meio da diferença entre a massa inicial e a massa final, resultante do ataque do fungo apodrecedor (Equação 5.5).

$$PM = \frac{Mi - Mf}{Mi} * 100 \quad (5.5)$$

Em que: PM= perda de massa (%); Mi= massa inicial (g); Mf= massa final (g).

Com base na perda de massa, os corpos de prova foram classificados quanto a sua resistência natural, segundo os critérios estabelecidos pela ASTM D 2017, apresentados, anteriormente, na Tabela 4.3.

5.4.6.2 Colorimetria

Os parâmetros colorimétricos foram definidos ao utilizar a técnica de refletância difusa no intervalo visível do espectro eletromagnético, denominada espectrofotocolorimetria, conforme metodologia adotada por Gonzalez (1993).

Com auxílio do aparelho Color Eye - XTH - X-rite acoplado a um microcomputador (Figura 5.4), pertencente ao Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal (LTM/EFL) da Universidade de Brasília (UnB), foram obtidos os parâmetros colorimétricos. Esse aparelho apresenta uma resolução de 3 nm, dotado de uma esfera integradora de refletância difusa.

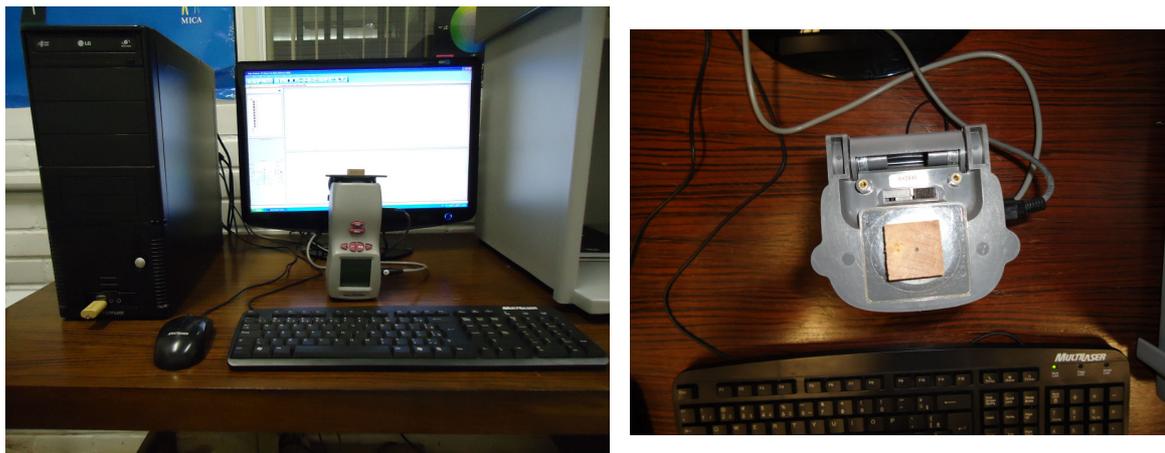


Figura 5.4 Sistema para medição dos parâmetros colorimétricos.

Para realização dos ensaios utilizou-se iluminante D65, composto de uma lâmpada de xenônio, o qual simula a radiação solar diurna, com um ângulo de observação de 10° em temperatura ambiente. Antecedendo as análises procedeu-se a calibração do colorímetro com auxílio de duas referências fornecidas pelo equipamento, uma com L*= 100 (branco total) e outra com L*= 0 (preto total).

A metodologia adotada para a determinação dos parâmetros colorimétricos, L* (clareza), coordenadas a* e b*, C (saturação) e h* (ângulo de tinta), foi o sistema CIELab, conforme citado por Camargos; Gonzalez (2001), sendo os mesmos obtidos diretamente no mostrador digital do espectrofotocolorímetro. Adicionalmente, determinou-se a variação total da cor (Equação 5.6), de acordo com a ASTM D 2244 – 09a (ASTM, 2009).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^* + \Delta a^* + \Delta b^*} \quad (5.6)$$

Em que: Δ = variação entre uma leitura inicial e outra final ou parcial.

Realizaram-se 10 leituras dos parâmetros colorimétricos, na seção transversal, para cada corpo de prova sendo utilizado o valor médio dessas medições.

5.4.6.3 Espectroscopia de infravermelho médio

A determinação das alterações químicas dos corpos de prova foi realizada por meio de ensaios de espectroscopia na região do infravermelho médio (MIR) no Setor de Química, Adesivos e Borracha Natural do LPF/SFB. Os espectros de refletância foram obtidos mediante utilização de um espectrofotômetro com transformada de Fourier, marca Bruker, modelo Tensor 37, com dispositivo de refletância difusa *EasyDiff* da marca Pike (Figura 5.5). A obtenção dos espectros realizou-se em sala climatizada, de modo a evitar influência do ambiente.

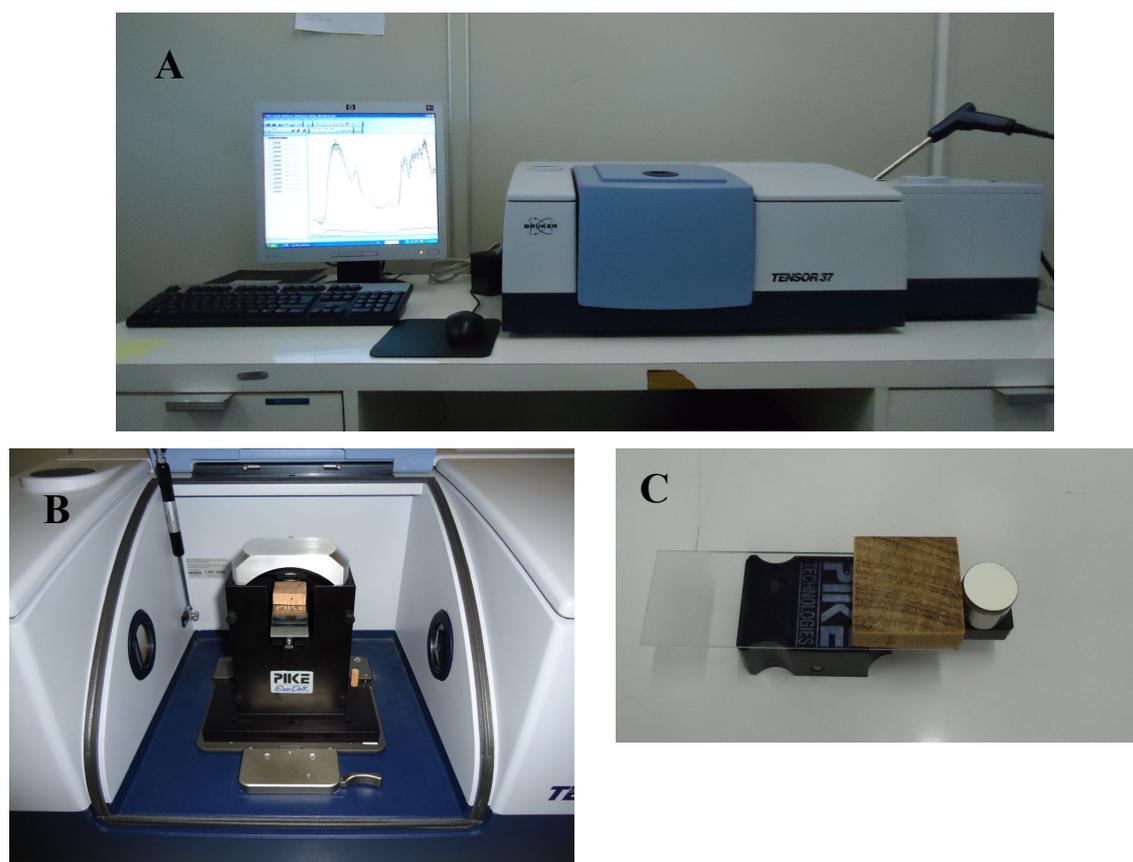


Figura 5.5 Espectrofotômetro Tensor 37 - Bruker (A). Detalhe do dispositivo de refletância difusa *EasyDiff* (B). Referência de superfície espelhada (C).

Antecedendo os ensaios com o espectrofotômetro, obteve-se o espectro de fundo (*background*)

por meio de um dispositivo fornecido juntamente com o equipamento (Figura 5.5). Esse dispositivo de superfície espelhada reflete por total a luz no comprimento de onda relativo ao MIR e compensa as variações de fatores externos do ar ambiente, como os teores de gás carbônico, de umidade e de ruídos elétricos no sinal do interferograma. Ao término das leituras de cada conjunto de corpos de prova de uma espécie, um novo *background* foi realizado.

A obtenção dos espectros na região do MIR foi realizada na forma íntegra, ou seja, sem a preparação dos corpos de prova. De cada corpo de prova foram obtidos três espectros, na seção transversal, sendo que para cada um realizaram-se 64 varreduras, com resolução de 4 cm^{-1} e faixa espectral entre 4000 a 850 cm^{-1} , em que a média dessas varreduras correspondeu a um espectro.

De modo a proporcionar subsídios para o monitoramento quantitativo das alterações químicas das madeiras atacadas pelos fungos apodrecedores, os espectros foram manipulados, ao empregar o software OPUS 6.5, mediante os seguintes procedimentos: correção da linha base em múltiplos pontos; subtração uniforme, em todo o espectro, da diferença de altura entre a linha base do espectro e a base do eixo y; alisamento de nove pontos nos espectros; aplicação da ferramenta de individualização das bandas de interesse; e medição da banda ou máximo dos picos de referência (Figuras 5.6 a 5.9).

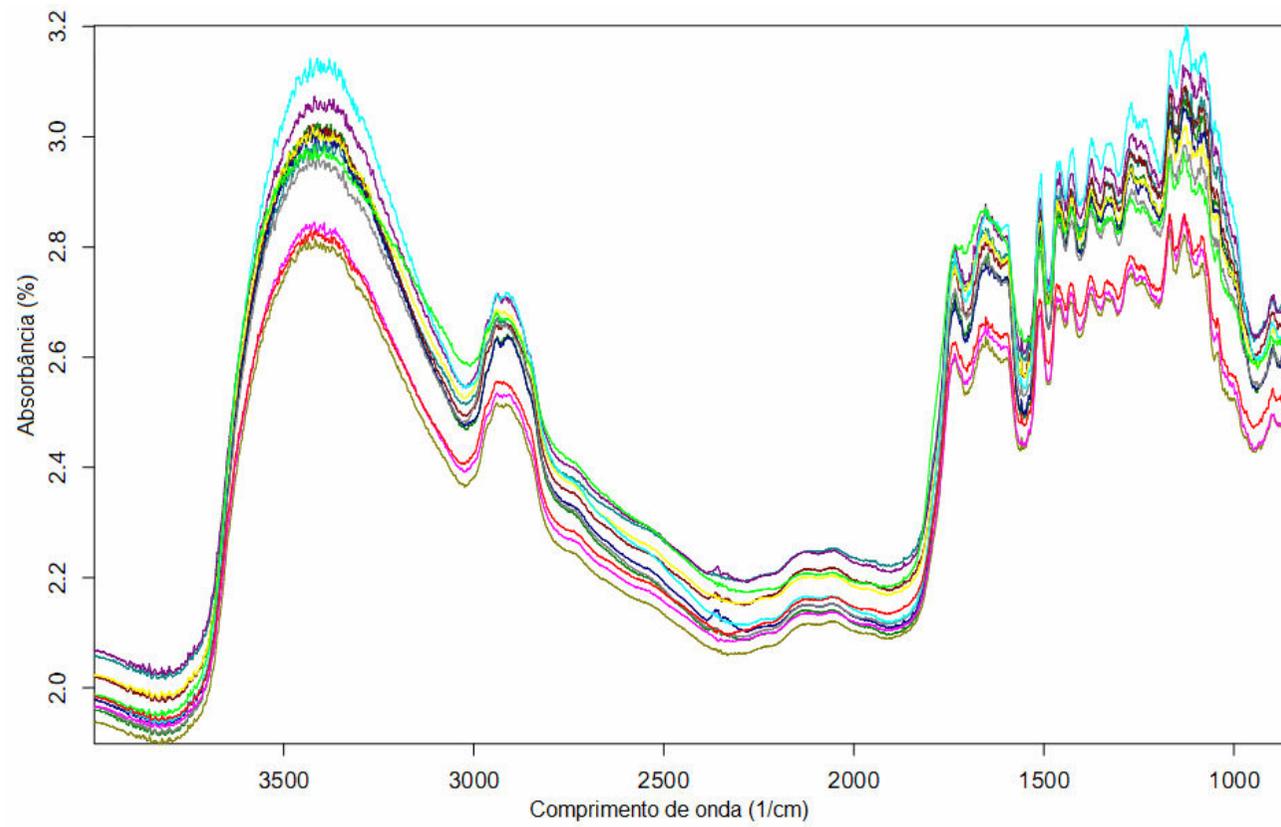


Figura 5.6 Espectros de DRIFT-MIR sem manipulação.

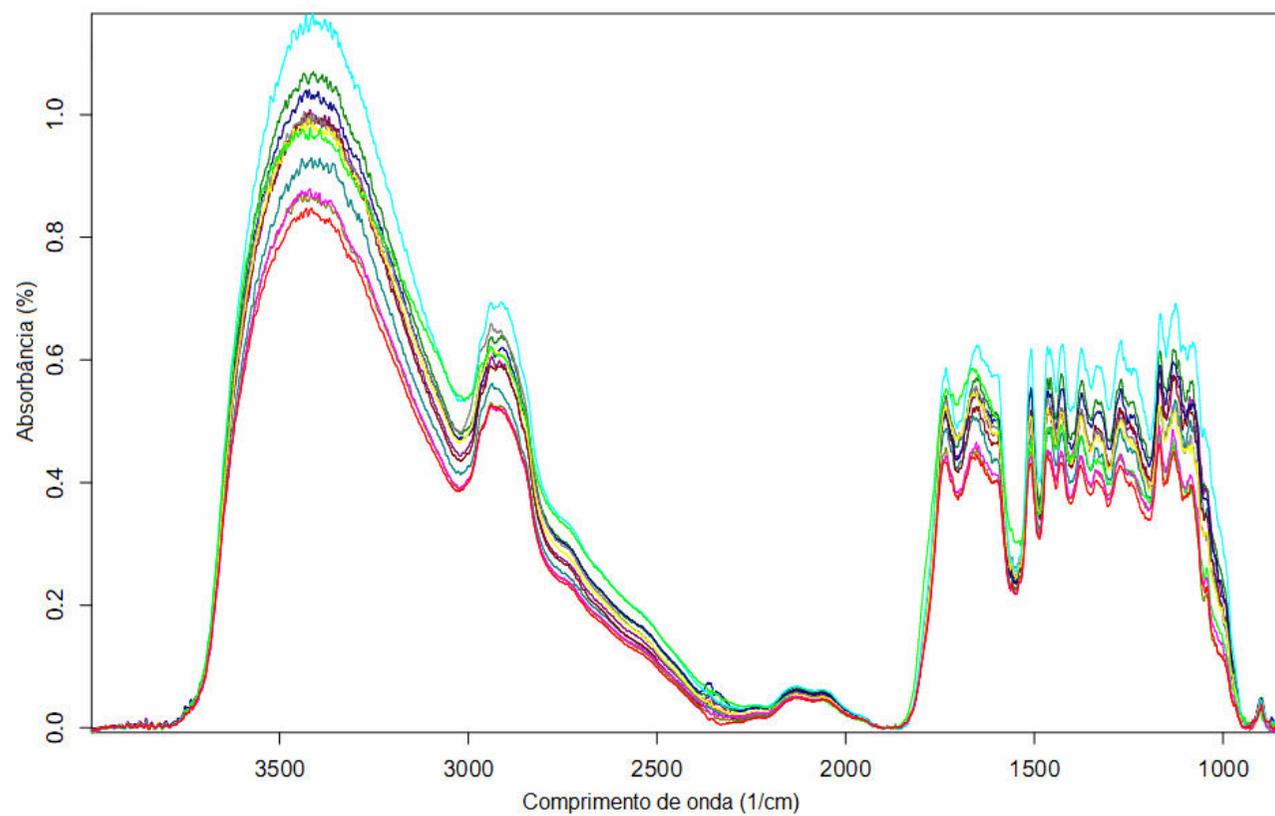


Figura 5.7. Espectros de DRIFT-MIR com manipulação: correção da linha base e alisamento.

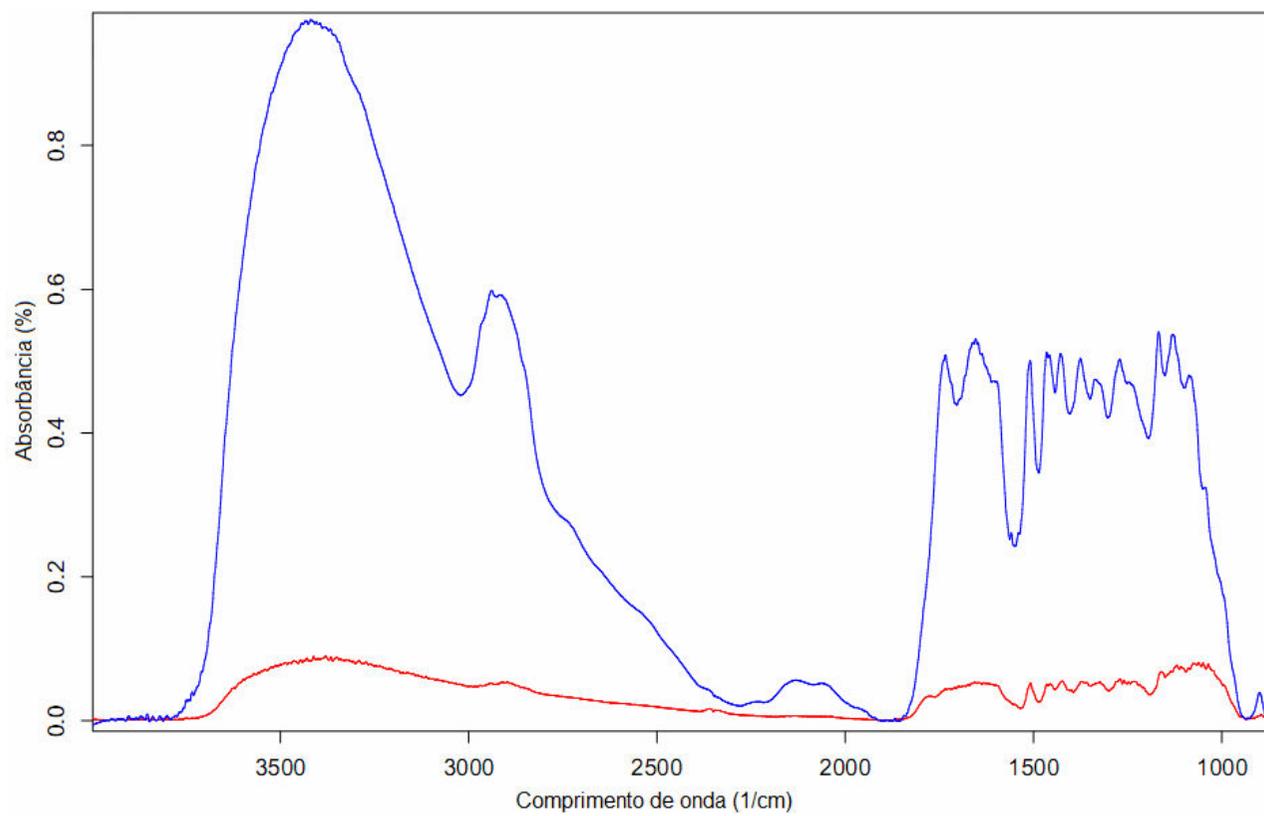


Figura 5.8. Espectros de DRIFT-MIR com manipulação: obtenção da média (em azul) e do desvio padrão (em vermelho).

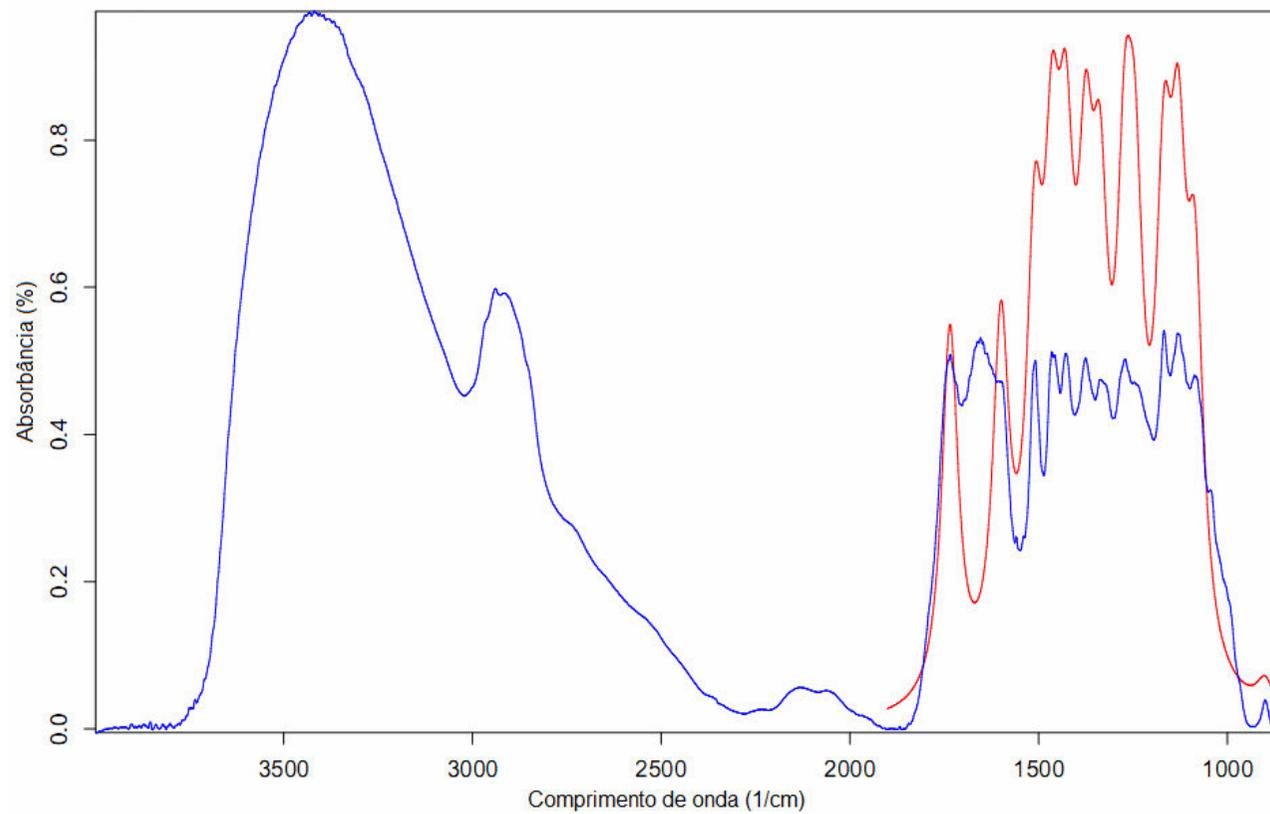


Figura 5.9 Espectros de DRIFT-MIR com manipulação: individualização das bandas de interesse (em vermelho).

De cada espectro, mediu-se a intensidade das seguintes bandas (Tabela 5.3):

Tabela 5.3 Bandas de interesse e atribuições químicas dos espectros de MIR.

λ (cm ⁻¹)	Atribuição	Componente químico	Referência
1735	v(C=O) não conjugada	Polioses	1, 2, 3
1600	v(C=C) [anel aromático]	Lignina	1, 2, 3
1510	v(C=C) [anel aromático]	Lignina	1, 2, 3
1460	δ_{as} (CH), δ_{as} (CH ₃)	Lignina	1, 2, 3
1430	δ_{as} (CH ₂)	Celulose	1, 3
1375	δ_s (CH)	Celulose e Polioses	1, 2, 3
1330	δ (OH)	Celulose	1, 3
1270	vas(C-O)	Lignina Guaiacil	1, 2, 3
1240	v(C-O)	Polioses e Lignina Siringil	1, 2
1170	vas(C-O-C)	Celulose e Polioses	1, 2, 3
1135	v(C-O)	Polioses	3
1090	v(C-C)	Celulose e Polioses	1
900	δ_{as} (CH)	Celulose	1, 2, 3

Em que: λ = comprimento de onda; v= estiramento simétrico; vas= estiramento assimétrico; δ = deformação simétrica; δ_{as} = deformação assimétrica. 1= Pastore (2004); 2= Muller *et al.* (2009); 3= Fackler *et al.* (2010).

5.4.6.4 Dureza Rockwell

Para o ensaio mecânico destrutivo foi empregado equipamento medidor de dureza Rockwell (Figura 5.10), marca Pantec, pertencente ao Laboratório de Metalurgia e Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da UnB, em Brasília, DF.

Cada corpo de prova foi submetido ao ensaio de dureza Rockwell, dotado de penetrador esférico de 1/4 de polegada, ao empregar a carga em duas etapas distintas, numa primeira aplicou-se uma pré-carga de 10 kgf e na segunda aplicou-se a carga final de teste de 60 kgf. Foram realizadas, em pontos distintos na seção transversal, três leituras da dureza Rockwell para cada corpo de prova (Figura 5.10). O resultado da resistência oferecida pelo corpo de prova à penetração da esfera foi obtido diretamente no mostrador analógico (escala vermelha) do durômetro.

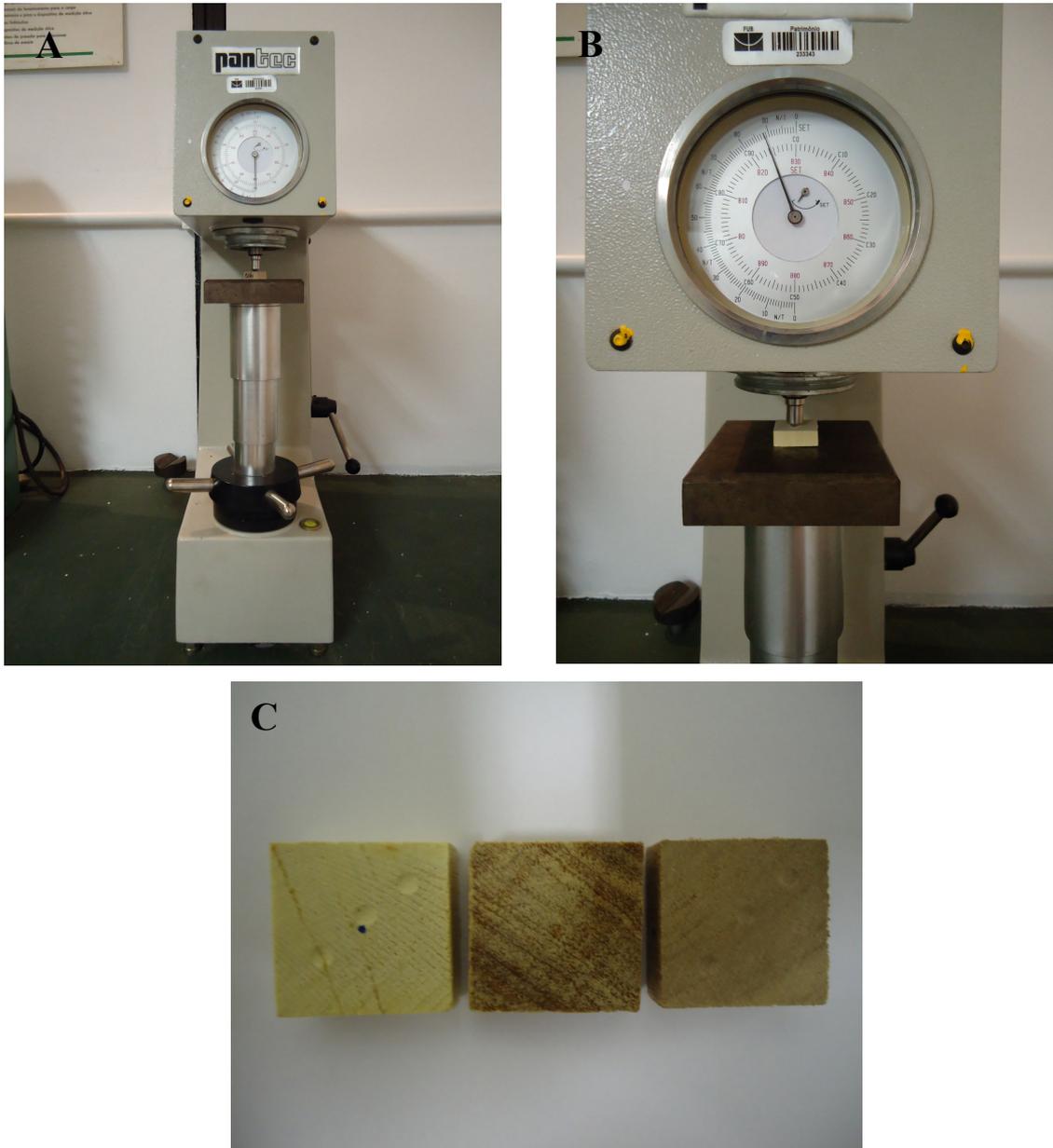


Figura 5.10 Aparelho medidor da dureza Rockwell (A). Detalhe do mostrador analógico com a escala de leitura (B). Detalhe da distribuição dos pontos de medida (C).

5.4.6.5 Molhabilidade

A caracterização da molhabilidade foi realizada por meio da técnica gota sésil ao empregar o goniômetro Krüss modelo DSA30 (Figura 5.11), equipado com sistema de vídeo e software para análise de imagem, pertencente ao LTM/EFL da UnB, em Brasília, DF.



Figura 5.11 Goniômetro Krüss modelo DSA30

A medição do ângulo de contato foi realizada pelo método estático, onde uma gota de água desionizada, com volume de aproximadamente 10 μL , foi depositada na superfície da madeira, sendo posteriormente tomada uma medida inicial (1 s) e outra final (5 s), de maneira a obter-se a variação do ângulo de contato ($\Delta\theta$), Equação 5.7.

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_f \quad (5.7)$$

Em que: $\Delta\theta$ = variação do ângulo de contato da gota d'água ($^\circ$); θ_i = ângulo de contato inicial – após 1 s ($^\circ$); θ_f = ângulo de contato final – após 5 s ($^\circ$).

Do total de corpos de prova submetidos aos ensaios de apodrecimento, foram selecionadas seis por retirada semanal/espécie/fungo apodrecedor, aleatoriamente, a partir dos quais foram tomadas duas leituras do ângulo de contato da gota d'água, sendo as medições realizadas na seção transversal de cada corpo de prova.

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise dos resultados das alterações nas propriedades biológicas, físicas, psico-físicas, químicas e mecânicas das madeiras empregou-se a análise de variância com posterior comparação de médias pelo teste de LSD de Fischer ($p > 0,05$).

Adicionalmente, a partir das correlações de Pearson significativas a 1% e 5% de probabilidade definiram-se modelos estatísticos para predição das alterações nas propriedades tecnológicas das madeiras.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 PERDA DE MASSA

Nas Figuras 6.1 a 6.3 e Apêndice 1 são apresentados os valores médios e os desvios padrões da perda de massa das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, bem como as respectivas classificações quanto a resistência natural, de acordo com ASTM D 2017.

Por meio do teste de médias (Apêndice 1), verificou-se que o percentual de perda de massa teve variação significativa para o período de ataque dos fungos apodrecedores dentro de cada espécie florestal. De modo geral, as médias de perda de massa não apresentaram estabilização entre a 8ª e 12ª semana de ensaio de apodrecimento, conforme determina a norma ASTM D 2017. Nesse sentido, pode-se afirmar que o período de tempo de ataque dos fungos apodrecedores, determinado pela norma ASTM D 2017, não foi suficiente para ser aplicado às madeiras em estudo, o que pode sugerir que para madeiras tropicais esse parâmetro deve ser revisto.

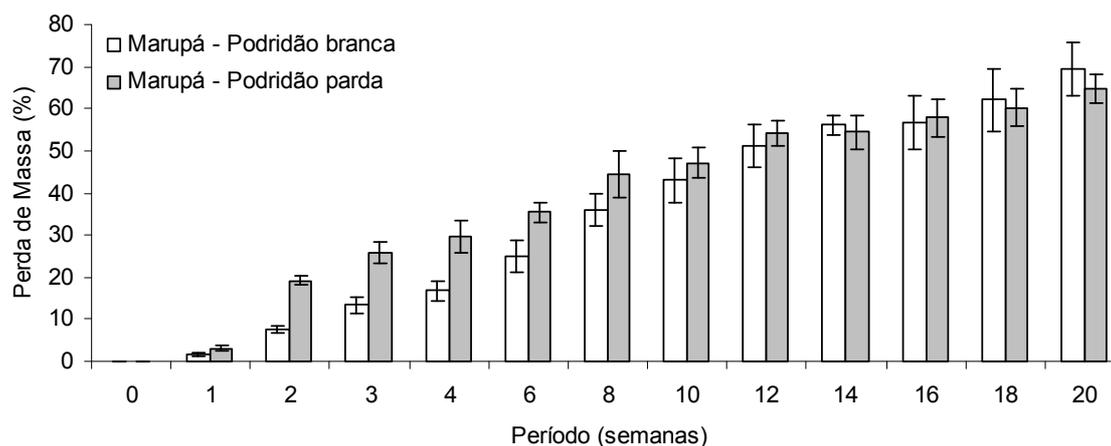


Figura 6.1 Perda de massa da madeira de *Simarouba amara* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

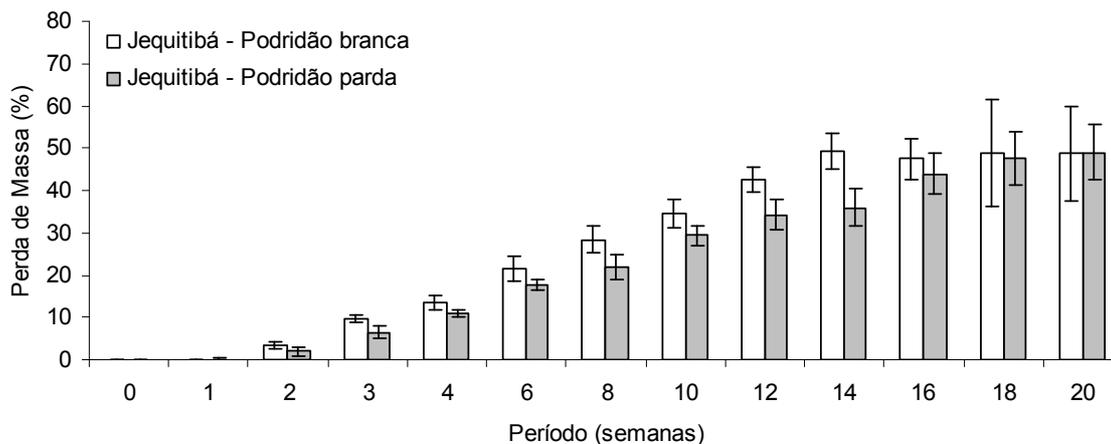


Figura 6.2 Perda de massa da madeira de *Cariniana micrantha* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

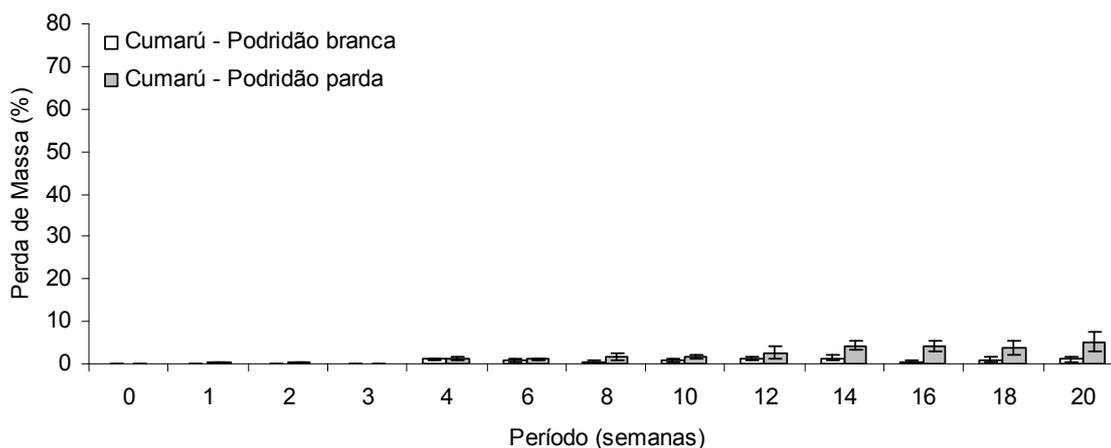


Figura 6.3 Perda de massa da madeira de *Dipteryx odorata* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

Quando considerado o intervalo entre a 12^a e 20^a semana, verificou-se que para a madeira de *Simarouba amara* a perda de massa manteve-se crescente para ambos os fungos apodrecedores. Com relação à madeira de *Cariniana micrantha*, foi possível observar comportamento diferenciado quanto ao fungo apodrecedor, para as amostras submetidas ao *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* a perda de massa apresentou estabilização a partir da 14^a e 18^a semana, respectivamente. Por sua vez, para as amostras de *Dipteryx odorata*, apesar de não registrarem uma tendência clara de redução da perda de massa em

relação às demais espécies, pode-se constatar que a mesma manteve-se constante a partir da 12ª e 14ª semana, para os fungos de podridão branca e parda, respectivamente. Tais resultados podem ser justificados em razão da constituição química das madeiras (Tabela 6.1), em especial a presença de componentes extrativos.

Tabela 6.1 Caracterização química e física das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*.

Espécie florestal	Holocelulose (%)	Lignina (%)	Extrativos (%)	Cinzas (%)	Φ (%)	MEbs (g.cm ⁻³)	Rn
<i>Simarouba amara</i>	68,41	28,53	2,49	0,57	74,02	0,40	1,00
<i>Cariniana micrantha</i>	62,72	28,40	7,85	1,03	64,28	0,55	4,32
<i>Dipteryx odorata</i>	62,04	28,30	9,20	0,46	39,61	0,93	8,56

Em que: Φ= porosidade; MEbs= massa específica básica; Rn= potencial de resistência natural.

De acordo com Eaton; Hale (1993), os extrativos influenciam no grau de resistência biológica, podendo retardar/minimizar ou acelerar/maximizar a deterioração dos constituintes de alto peso molecular (celulose, polioses e lignina). Nesse sentido, é possível afirmar que madeiras com elevado teor de extrativos, como no caso do cumarú, apresentam a tendência de estabilização da perda de massa em um menor período de tempo, em razão do “esgotamento” do mecanismo enzimático da cultura fúngica, quando comparado a madeiras com baixo teor de extrativos, como no caso do marupá.

Entretanto quando analisada a classificação de resistência biológica (Tabela 4.3) proposta pela ASTM D 2017, constatou-se que a mesma, de modo geral, não é sensível às variações significativas de perda de massa ao longo do período de exposição das madeiras aos fungos apodrecedores. Para a madeira de *Simarouba amara*, verificou-se que após a 10ª e 12ª semana as amostras foram classificadas como não resistentes aos fungos de podridão parda e branca, respectivamente. Por sua vez, as amostras de *Dipteryx odorata* apresentaram classificação constante de muito resistente até o término dos ensaios. Quando considerada a madeira de *Cariniana micrantha*, observou-se que a classificação de não resistente aos fungos de podridão branca e parda, a partir da 14ª e 18ª semana, respectivamente, manteve-se constante, bem como as variações de perda de massa.

Em relação aos fungos apodrecedores, verificou-se que o comportamento da propriedade

biológica foi diferenciado de acordo com a madeira testada. As amostras de *Dipteryx odorata* demonstraram, durante todo o período de ensaio, perda de massa por *Gloeophyllum trabeum* significativamente superior em relação ao *Trametes versicolor*. No caso da madeira de *Simarouba amara*, a perda de massa devido a exposição ao *Gloeophyllum trabeum*, até a 10ª semana, foi significativamente superior comparada ao *Trametes versicolor*. Já para as amostras de *Cariniana micrantha*, constatou-se tendência contrária, em que até a 14ª semana a perda de massa causada pelo fungo de podridão branca foi significativamente superior à registrada pelo fungo de podridão parda.

De acordo com Panshin; De Zeeuw (1980) os fungos de podridão parda, apesar de proporcionarem um ataque mais heterogêneo na parede celular, causam maiores perdas de massa em comparação aos fungos de podridão branca, conforme verificado para as amostras de *Dipteryx odorata*. Carneiro *et al.* (2009) em estudo de durabilidade natural da madeira de 28 espécies amazônicas submetidas ao ataque de diferentes fungos apodrecedores, corroboram com a citação anterior. A principal explicação está relacionada a melhor difusão das enzimas dos fungos de podridão parda, principalmente, nos estágios iniciais, porém Zabel; Morrell (1992) enfatizam que com o apodrecimento intenso as perdas de massa, ocasionadas pelas diferentes classes de fungos apodrecedores, tendem a serem semelhantes, corroborando com os resultados apresentados para *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha*. Entretanto, Torelli; Cufar (1994) ao avaliarem a resistência natural da madeira de 43 espécies de folhosas mexicanas, constataram que para algumas amostras a perda de massa causada por *Trametes versicolor* foi superior ao registrado com *Gloeophyllum trabeum*. Sendo assim, constata-se que cada fungo apodrecedor pode apresentar características diferenciadas de ataque a madeira em razão da espécie florestal. Schmidt (2006) cita que as diferentes características fisiológicas e necessidades nutricionais dos microrganismos fúngicos, resultam em preferências por determinadas madeiras conforme a composição química dessas.

Ao avaliar a espécie florestal, observou-se que, durante as 20 semanas de exposição aos fungos apodrecedores, as amostras de *Dipteryx odorata* apresentaram menor perda de massa, diferindo significativamente em relação a *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha* (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 Comparação das médias de perda de massa entre as madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* para ambos os fungos apodrecedores.

Período (semanas)	<i>Simarouba amara</i>	<i>Cariniana micrantha</i>	<i>Dipteryx odorata</i>
0	0	0	0
1	2,35 a*	0,10 b	0,18 b
2	13,41 a	2,77 b	0,18 c
3	19,54 a	8,07 b	0,00 c
4	23,23 a	12,24 b	1,14 c
6	30,09 a	19,54 b	1,06 c
8	40,08 a	25,13 b	1,13 c
10	45,06 a	31,94 b	1,20 c
12	52,71 a	38,39 b	1,95 c
14	55,37 a	42,61 b	2,86 c
16	57,27 a	45,64 b	2,40 c
18	61,16 a	48,16 b	2,38 c
20	67,04 a	48,90 b	3,10 c

Em que: *Médias não seguidas por uma mesma letra minúscula, na horizontal, diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer.

Carneiro *et al.* (2009) ao submeterem a madeira de *Dipteryx odorata* a ação de fungos de podridão branca e parda, dentre os quais destaca-se *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, constataram que a mesma enquadra-se na classe de muito resistente, visto que a perda de massa, ao final de 12 semanas, foi de, aproximadamente, 2%. Em complemento, Jesus *et al.* (1998) ao avaliarem ensaios de apodrecimento a campo, instalados no estado do Amazonas, nos quais a madeira fica sujeita a ação de diferentes agentes deterioradores, mencionaram que dentre as madeiras de 46 espécies nativas da Região, a durabilidade da madeira de *Dipteryx odorata* pode ser considerada elevada, em razão de sua vida útil superior a 8 anos.

Jesus; Abreu (2002) em estudos de apodrecimento acelerado, duração de 16 semanas, com a madeira de *Simarouba amara* classificaram a mesma como não resistente e moderadamente resistente a ação de fungos de podridão parda (*Lenzites trabea*) e branca (*Pycnoporus sanguineus* e *Polyporus fumosus*), respectivamente. Carneiro *et al.* (2009) citam que a madeira de marupá apresenta resistência moderada a ação de fungos apodrecedores (podridão branca e parda). De modo distinto aos trabalhos supracitados, Costa (2009) caracterizou a madeira de marupá como sendo não resistente a ação dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, após 12 semanas, resultado semelhante ao registrado no presente estudo. É válido

ênfatizar que as diferenças constatadas na resistênça natural da madeira de *Simarouba amara* entre as literaturas pode ser atribuída ao vigor da cultura fúngica (idade, período de estocagem, linhagem e mutações) e as condições de incubação (temperatura, umidade e meio de cultura) durante o ensaio de apodrecimento, conforme descrito por Dirol; Deglise (2001).

Gouveia *et al.* (2011) mencionaram que a madeira de *Cariniana micrantha* pode ser classificada como moderadamente resistente ao ataque dos fungos de podridão branca e parda, ao apresentar perda de massa de 41,04 e 39,40%, respectivamente, após 12 semanas de ensaio de laboratório, corroborando com os resultados apresentados no presente estudo.

Segundo Alves *et al.* (2006), Eaton; Hale (1993) e Zabel; Morrell (1992), ao considerarem apenas o fator madeira, a resistênça natural aos fungos apodrecedores está condicionada às vias de acesso (plano anatômico e teor de umidade) e a composição química. Nesse sentido, na Tabela 6.1, verificou-se que a madeira de *Dipteryx odorata* apresentou características de elevado teor de extrativos e massa específica, bem como de baixa porosidade e alto potencial de resistênça natural, o que conferiu elevada resistênça biológica ao material, quando comparada as madeiras de *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha*.

Santana; Okino (2007) e Carneiro *et al.* (2009) descrevem valores de teor de extrativos e de massa específica básica das madeiras de marupá (2,1% e 0,37 g.cm⁻³) e cumarú (9,7% e 0,94 g.cm⁻³) semelhantes aos apresentados na Tabela 6.1. Para a madeira de jequitibá, Gouveia *et al.* (2011) mencionaram valores de massa específica básica de 0,53 g.cm⁻³ e de extrativos de, aproximadamente, 4%, esse último é, consideravelmente, distinto do registrado na Tabela 6.1. No entanto, em nível de gênero, Klock *et al.* (2005) e Mori *et al.* (2003) apresentaram teores de extrativos variando entre 5 a 9%, aproximadamente. Hillis (1962) cita vários fatores que estão associados com a variação do conteúdo de extrativos: idade da árvore; posição da amostra na árvore, local de crescimento, variações sazonais e diferenças genéticas, o que pode explicar essa diferença dos valores.

De acordo com Carneiro *et al.* (2009), a perda de massa, o teor de extrativos e o potencial de resistênça natural, são diretamente relacionados. Os autores supracitados citam que,

normalmente, madeiras da região Amazônica com teor de extrativos acima de 7% apresentam um elevado potencial de resistência natural e conseqüentemente as perdas de massa são mínimas. No entanto, para a madeira de jequitibá verificou-se que apesar do alto teor de extrativos, a perda de massa não foi mínima, ao contrário do constatado para a madeira de cumarú.

Panshin; De Zeeuw (1980) citam que a massa específica, e conseqüentemente a porosidade, podem ser empregadas como indicativo da durabilidade natural, sendo que madeiras mais densas e menos porosas oferecem maior estabilidade, ou seja, menor deterioração por fungos apodrecedores.

É preciso enfatizar que, apesar, da relação direta entre o teor (quantidade) de extrativos e a massa específica da madeira (KOLLMANN, 1959), o potencial de resistência natural, conforme descrito por Carneiro *et al.* (2009), não pode ser associado, apenas, aos dois parâmetros, mas sim com as classes químicas (qualidade) dos extrativos (PAES *et al.*, 2007; ARCHER; LEBOW, 2006). De acordo com Walker (2006), a durabilidade natural da madeira está relacionada, principalmente, com a concentração de extrativos fenólicos (taninos, fenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas e polifenóis), como no caso de *Dipteryx odorata* que apresenta cerne rico em cumarina (CANUTO; SILVEIRA, 2006).

As correlações lineares e os modelos estatísticos de predição das perdas de massa de cada espécie florestal em função do período de exposição aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* são apresentados na Tabela 6.3 e Figuras 6.4 a 6.6, respectivamente.

Mediante análise dos parâmetros estatísticos (R , $R^2_{aj.}$, S_{yx} e valor de F calculado), percebe-se que, de modo geral, as correlações e os modelos estatísticos foram satisfatórios, sendo observados os melhores ajustes para as amostras de jequitibá e cumarú quando submetidas ao ataque de *Gloeophyllum trabeum*, e para o marupá exposto ao *Trametes versicolor*.

Tabela 6.3 Correlação entre a perda de massa e o período de exposição das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* aos fungos apodrecedores.

	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	PM - TV (%)	PM - GT (%)	PM - TV (%)	PM - GT (%)	PM - TV (%)	PM - GT (%)
Período (semanas)	0,99 (< 0,01**)	0,94 (< 0,01**)	0,97 (< 0,01**)	0,99 (< 0,01**)	0,70 (< 0,01**)	0,96 (< 0,01**)

Em que: PM - TV= perda de massa da madeira atacada pelo fungo *Trametes versicolor*; PM - GT= perda de massa da madeira atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%.

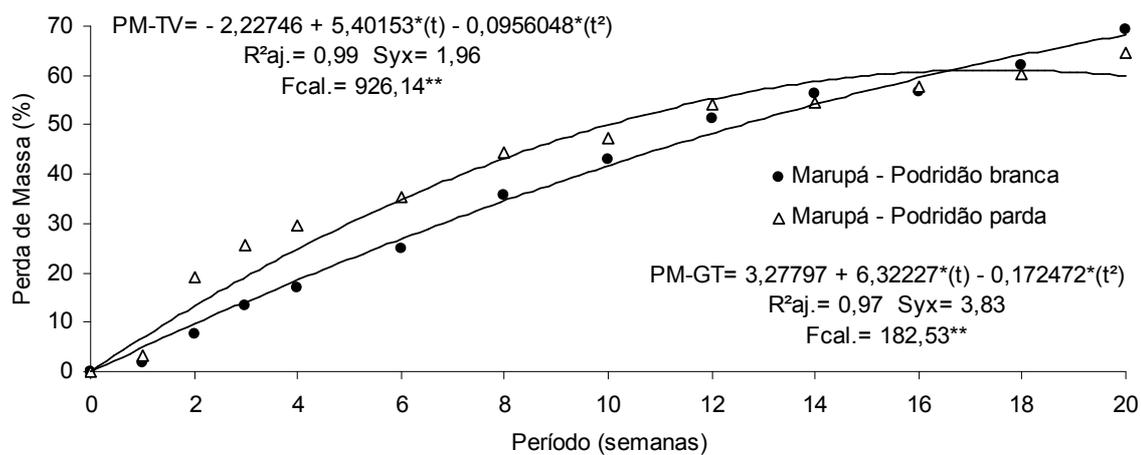


Figura 6.4 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

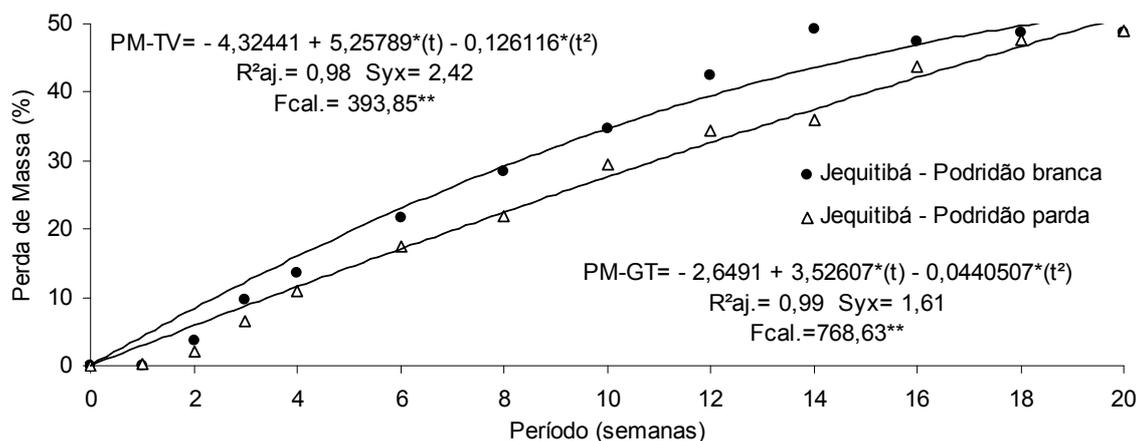


Figura 6.5 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

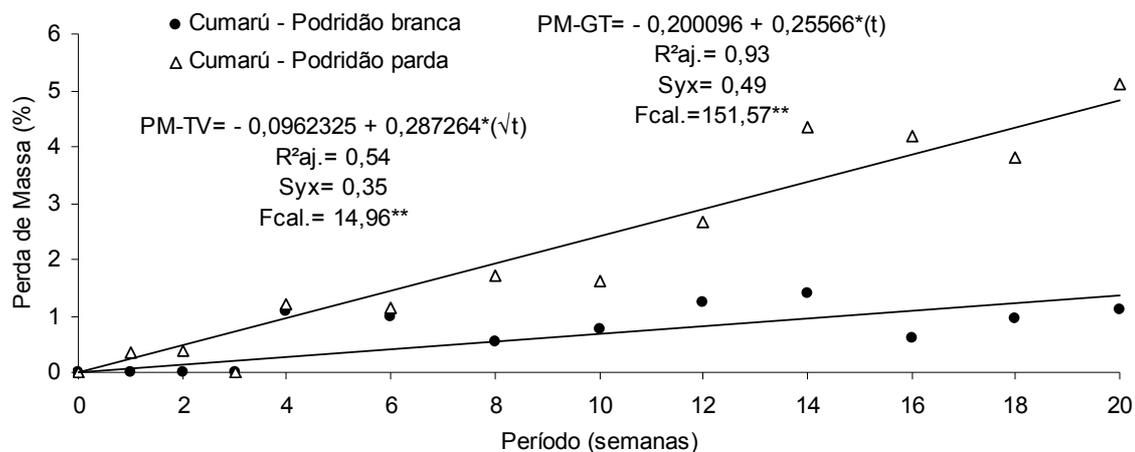


Figura 6.6 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Dipteryx odorata* em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

Para a madeira de *Dipteryx odorata* submetida ao ataque de *Trametes versicolor*, verificou-se o pior ajuste preditivo, sendo que tal resultado pode ter sido influenciado diretamente pela baixa variação e magnitude da perda de massa ao longo do período de exposição ao fungo apodrecedor. Apesar das diferenças, ao considerar as interações entre as espécies de madeira e os fungos apodrecedores, tanto as correlações quanto os ajustes de predição foram significativos a 1%.

6.2 ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS

As Figuras 6.7 a 6.9 e os Apêndices 2 a 4 apresentam os valores médios e os desvios padrões dos parâmetros colorimétricos das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

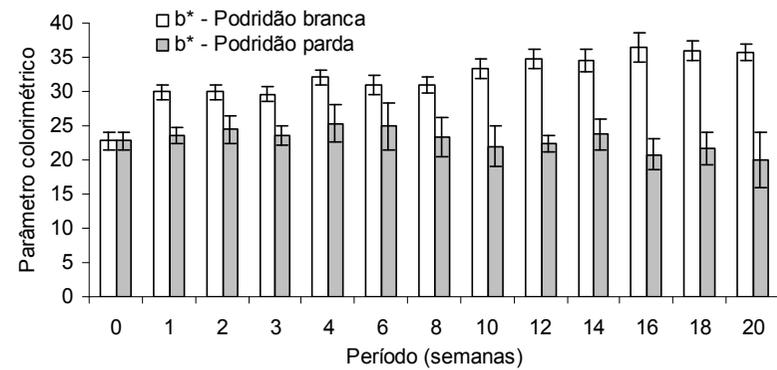
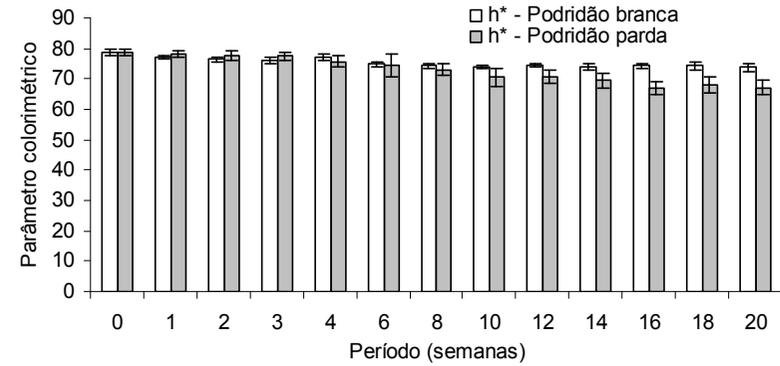
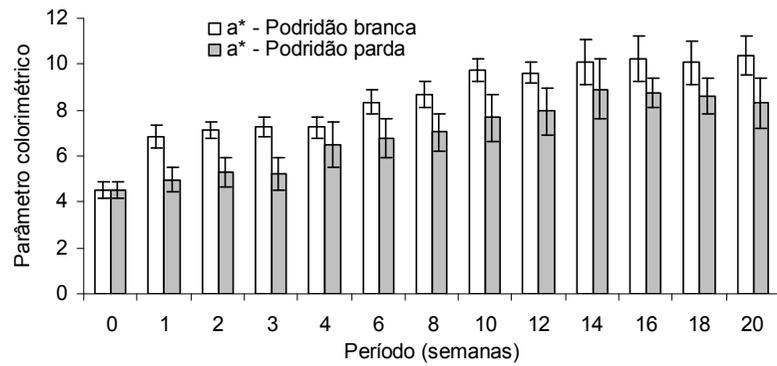
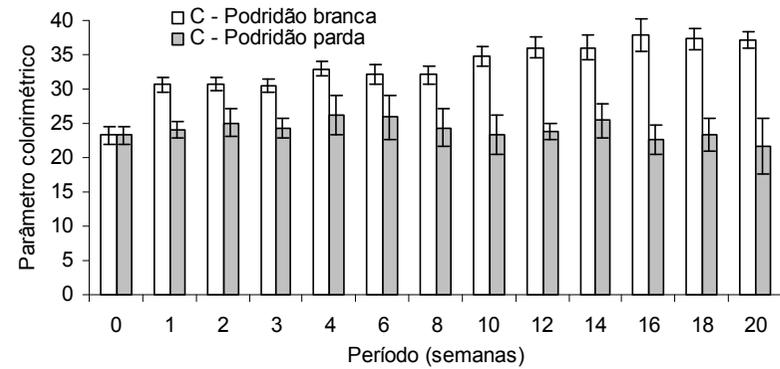
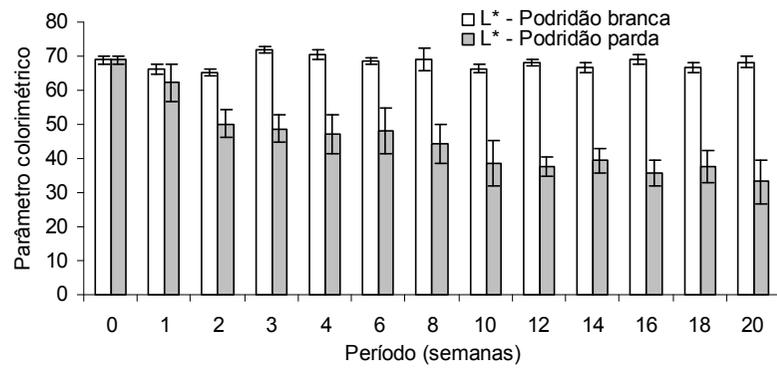


Figura 6.7 Alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Simarouba amara* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.

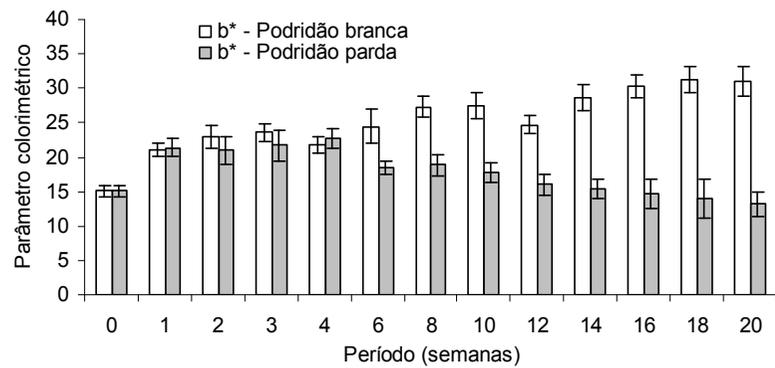
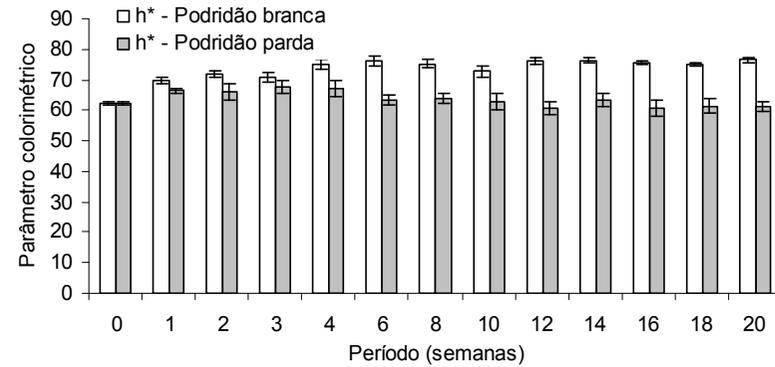
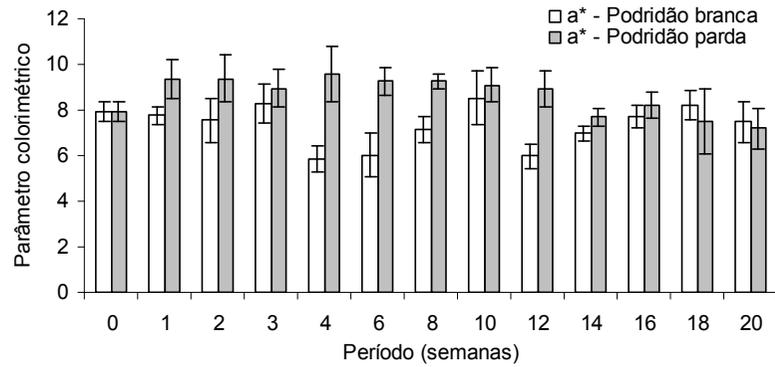
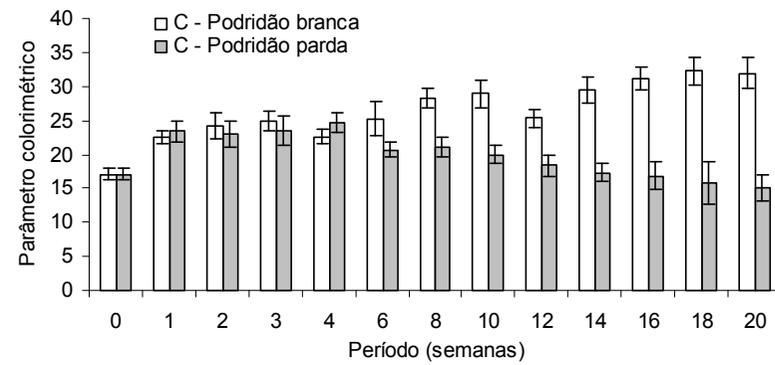
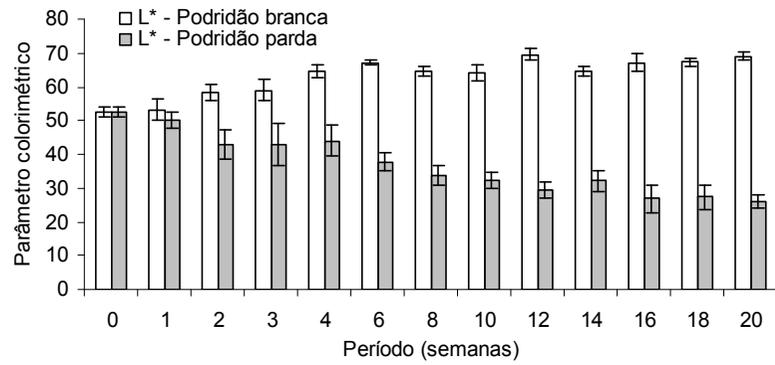


Figura 6.8 Alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Cariniana micrantha* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.

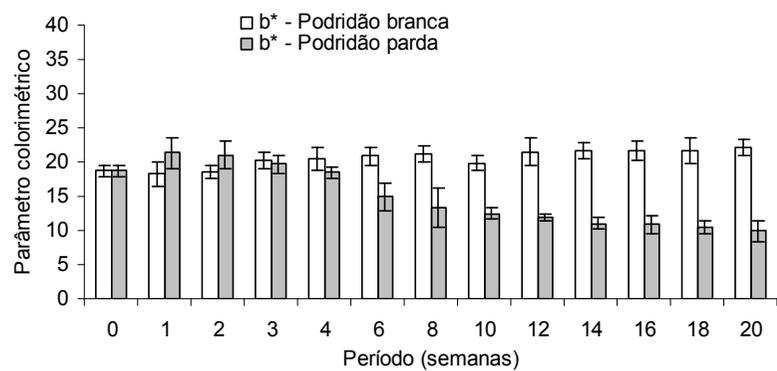
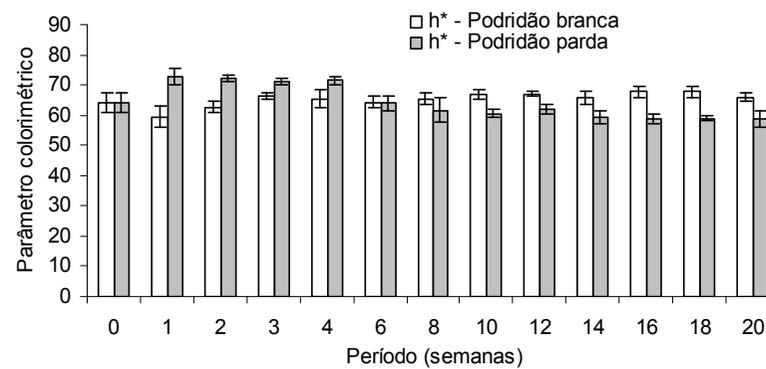
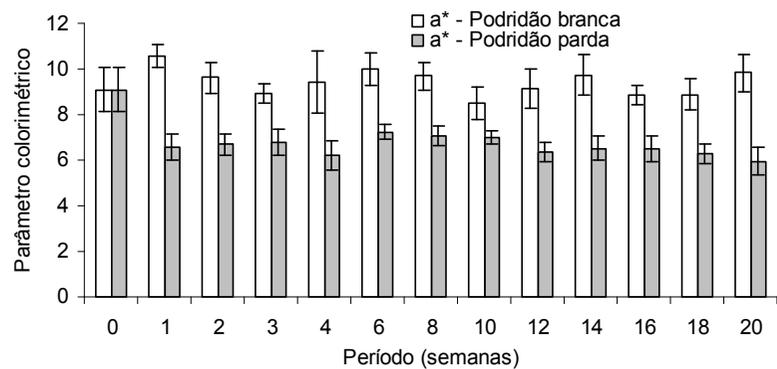
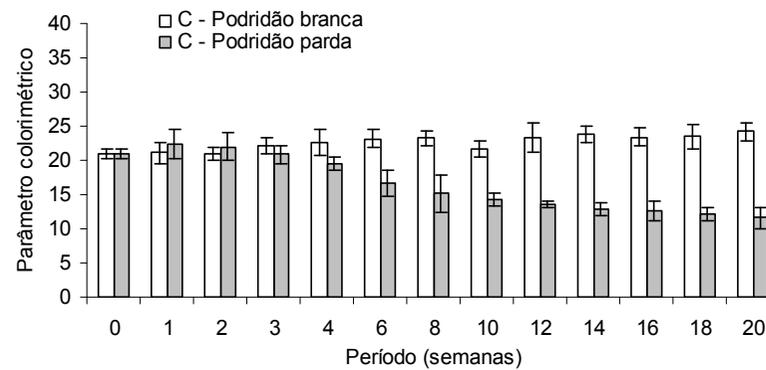
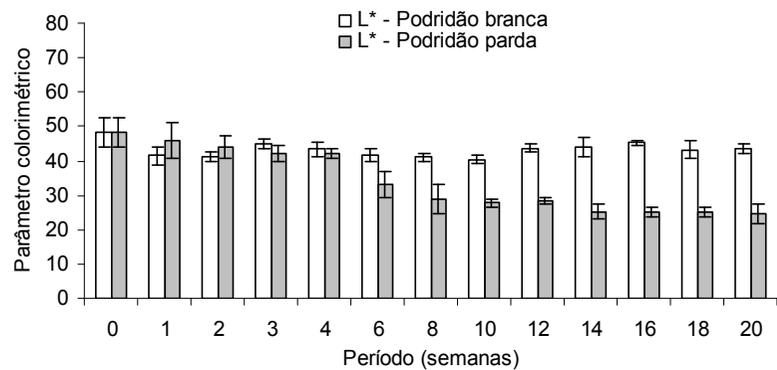


Figura 6.9 Alteração dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Dipteryx odorata* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.

Okino *et al.* (2009) mencionaram que a análise colorimétrica de uma madeira submetida a exposição de fungos apodrecedores é complexa, devido, principalmente, a presença de estruturas de lignina residual e/ou modificação das hemiceluloses. Entretanto, ao analisar o fungo apodrecedor, pode-se observar que, de modo geral, independente do período e da espécie, os parâmetros colorimétricos L*, a*, b*, C e h* apresentaram valores significativamente distintos em função do ataque de *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*. Esse resultado pode ser justificado em razão dos distintos mecanismos enzimáticos que os fungos apresentam, em que os causadores de podridão branca atacam de modo indistinto os componentes químicos da madeira (celulose, polioses e lignina), enquanto os de podridão parda deterioram, apenas, os polissacarídeos.

Mediante análise do teste de médias (Apêndices 2 a 4), foi possível observar que os parâmetros colorimétricos apresentaram variação significativa para o período de ataque dos fungos apodrecedores dentro de cada espécie florestal.

Para a madeira de *Simarouba amara* verificou-se que, dentre os parâmetros colorimétricos básicos, L*, a* e b*, a exposição à podridão branca ocasionou um acréscimo significativo nos parâmetros a* e b*, enquanto o L* apresentou-se, de certo modo, estável. Apesar do acréscimo na coordenada a*, a qual atribui um avermelhamento, deve-se ressaltar que a coordenada b* foi o principal parâmetro responsável pela alteração colorimétrica, e que seu acréscimo ocasionou o amarelecimento da madeira submetida ao *Trametes versicolor*. Com relação à podridão parda, os três parâmetros colorimétricos básicos apresentaram alteração significativa na pigmentação, sendo que a interação entre os mesmos foi responsável pelo escurecimento das amostras de *Simarouba amara*. Foi possível perceber que as coordenadas L* e b* diminuíram, de modo a ocasionar o escurecimento e o menor amarelecimento, respectivamente, e por sua vez, a coordenada a* aumentou a pigmentação avermelhada da madeira atacada por *Gloeophyllum trabeum*. Os resultados supracitados estão de acordo com os registrados por Costa (2009) ao submeter à madeira de marupá aos mesmos fungos causadores de podridão branca e parda.

Nas amostras de *Cariniana micrantha* submetidas a podridão branca foi constatado que as

coordenadas L^* e b^* apresentaram valores significativamente acrescidos, de modo a proporcionarem o clareamento e o amarelecimento, respectivamente. Por sua vez, apesar dos valores da coordenada colorimétrica a^* , antes e após a ação do fungo, manterem-se, de certa maneira, estabilizados, verificou-se um decréscimo de cerca de 25% na 4^a, 6^a e 12^a semana. Okino *et al.* (2009) ao analisarem o efeito de *Phanerochaete chrysosporium* (podridão branca) em seis clones de *Hevea brasiliensis* verificaram comportamento semelhante, em que a coordenada b^* , num primeiro plano, e L^* , num segundo plano, foram os mais modificados, enquanto que a coordenada a^* , permaneceu estável. Ao considerar o ataque do *Gloeophyllum trabeum*, constatou-se que os três parâmetros colorimétricos básicos (L^* , a^* e b^*) da madeira de jequitibá foram significativamente reduzidos, o que justificou o escurecimento das amostras. No entanto, interessante observar que o decréscimo na magnitude das coordenadas a^* e b^* , apenas, foi registrado a partir da 2^a semana, sendo que na 1^a semana ocorreu um aumento. Provavelmente, esse acréscimo inicial foi devido ao contato dos micélios de fungo com a superfície da madeira, sendo que posteriormente, com o progresso da difusão das hifas fúngicas no interior da madeira foi estabelecido o decréscimo dos parâmetros.

Em relação à madeira de *Dipteryx odorata*, foi possível verificar que tanto para o apodrecimento causado pelo *Trametes versicolor*, quanto pelo *Gloeophyllum trabeum*, o número de parâmetros colorimétricos significativamente modificados foi reduzido, ao realizar a comparação com as madeiras de *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha*. Esse resultado pode ser justificado em razão da maior resistência natural da madeira de cumarú, a qual está relacionada a menor facilidade de difusão das hifas, de modo a proporcionar alterações colorimétricas menos acentuadas. Para a podridão branca, verificou-se que, apenas, o parâmetro b^* foi influenciado, sendo este significativamente elevado com a exposição, de modo a provocar o amarelecimento das amostras de cumarú. E por fim, sob o ataque de podridão parda, constatou-se que os parâmetros L^* e b^* apresentaram valores significativamente reduzidos, ao proporcionar o escurecimento e o menor amarelecimento, respectivamente.

Nas Figuras 6.10 a 6.12 são ilustradas as curvas de refletância das madeiras de marupá, jequitibá e cumarú em dois estágios, antes e após aos ensaios de laboratório com os fungos de podridão branca e parda. Adicionalmente no Apêndice 5 é apresentado o aspecto visual das

madeiras durante o período de 20 semanas de apodrecimento acelerado.

De modo geral, pode-se verificar comportamento semelhante entre as madeiras de marupá e jequitibá quando expostas aos fungos apodrecedores. As podridões branca e parda proporcionaram colorações mais claras e escuras, ou seja, refletindo mais e menos a luz incidente, respectivamente, em comparação as madeiras não atacadas. No entanto, para a madeira de cumarú pode-se constatar que para ambos os fungos apodrecedores as colorações foram mais escuras, de maneira a refletir menos a luz incidente.

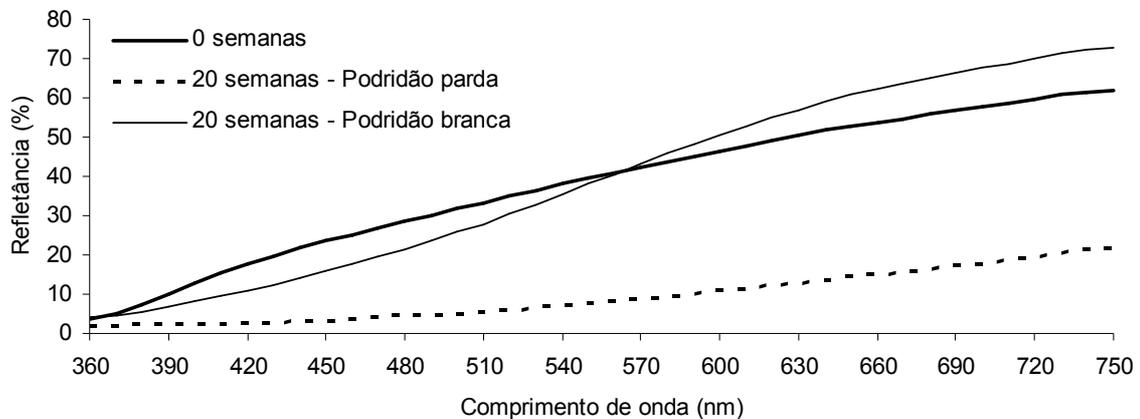


Figura 6.10 Curva de refletância da madeira de *Simarouba amara* antes e após o ataque dos fungos apodrecedores.

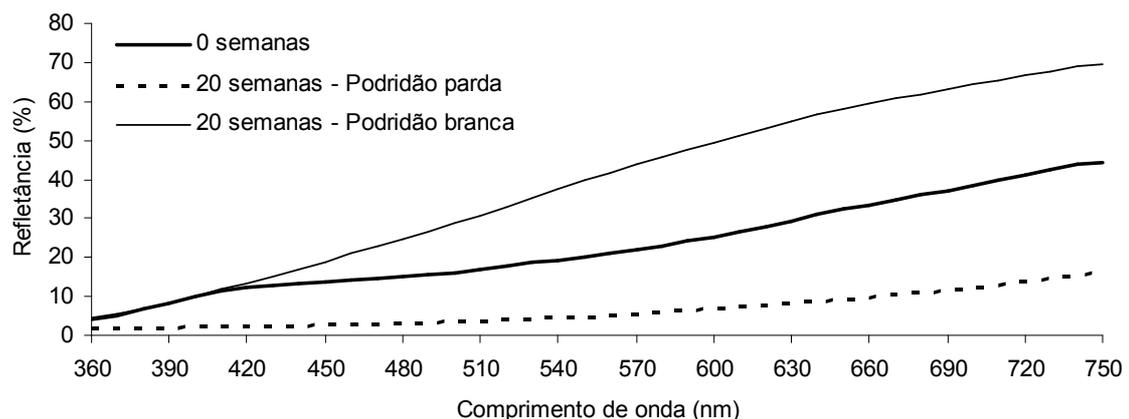


Figura 6.11 Curva de refletância da madeira de *Cariniana micrantha* antes e após o ataque dos fungos apodrecedores.

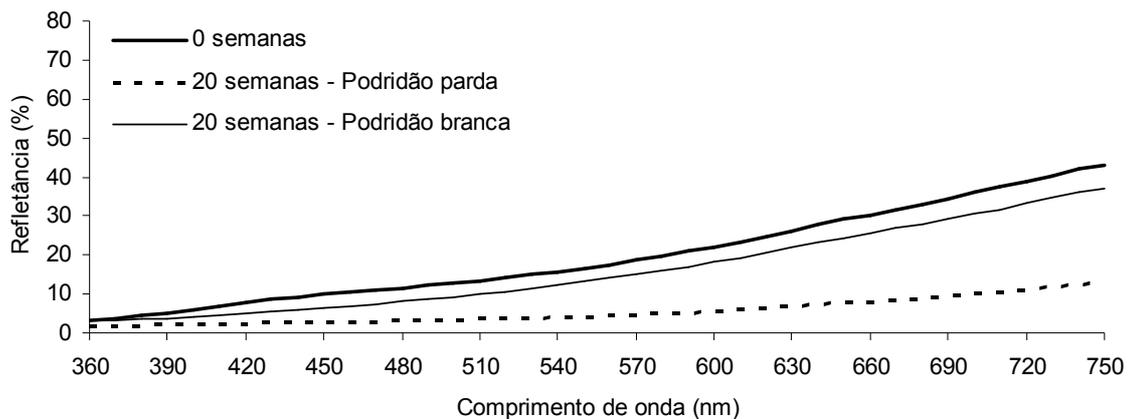


Figura 6.12 Curva de refletância da madeira de *Dipteryx odorata* antes e após o ataque dos fungos apodrecedores.

Deve-se destacar que as madeiras de cada espécie florestal, em estado sadio, apresentaram curvas espectrais características. O ataque dos fungos apodrecedores também proporcionou a obtenção de curvas espectrais diferentes para cada madeira, de modo a refletir o comportamento dos parâmetros colorimétricos.

As Tabelas 6.4 a 6.6 apresentam as matrizes de correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* e o período de exposição aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

Por meio dos coeficientes de correlação, além dos parâmetros colorimétricos básicos, supracitados, verificou-se que C e h* auxiliaram na compreensão do fenômeno de biodeterioração.

Para as madeiras de ambas as espécies, o parâmetro h* apresentou correlação negativa, de modo significativo, com o período de exposição ao fungo de podridão parda. De acordo com Costa (2009), esse resultado auxilia na justificativa do escurecimento causado pelo *Gloeophyllum trabeum*, ao aproximar o ângulo de tinta ao eixo da coordenada a*.

Tabela 6.4 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e o período de exposição da madeira de *Simarouba amara* aos fungos apodrecedores.

<i>Trametes versicolor</i>						
	a*	b*	C	h*	ΔE	Período
L*	- 0,23 (0,45 ^{NS})	- 0,20 (0,52 ^{NS})	- 0,20 (0,51 ^{NS})	0,23 (0,45 ^{NS})	- 0,23 (0,44 ^{NS})	- 0,17 (0,59 ^{NS})
a*	-	0,95 (< 0,01**)	0,96 (< 0,01**)	- 0,96 (< 0,01**)	0,96 (< 0,01**)	0,91 (< 0,01**)
b*	-	-	0,99 (< 0,01**)	- 0,83 (< 0,01**)	0,99 (< 0,01**)	0,87 (< 0,01**)
C	-	-	-	- 0,85 (< 0,01**)	0,99 (< 0,01**)	0,88 (< 0,01**)
h*	-	-	-	-	- 0,85 (< 0,01**)	- 0,83 (< 0,01**)
ΔE	-	-	-	-	-	0,86 (< 0,01**)
<i>Gloeophyllum trabeum</i>						
	a*	b*	C	h*	ΔE	Período
L*	- 0,90 (< 0,01**)	0,49 (0,09 ^{NS})	0,25 (0,41 ^{NS})	0,89 (< 0,01**)	- 0,99 (< 0,01**)	- 0,87 (< 0,01**)
a*	-	- 0,53 (0,06 ^{NS})	- 0,26 (0,39 ^{NS})	- 0,97 (< 0,01**)	0,90 (< 0,01**)	0,94 (< 0,01**)
b*	-	-	0,96 (< 0,01**)	0,71 (< 0,01**)	- 0,49 (0,09 ^{NS})	- 0,73 (< 0,01**)
C	-	-	-	0,48 (0,10 ^{NS})	- 0,25 (0,41 ^{NS})	- 0,51 (0,07 ^{NS})
h*	-	-	-	-	- 0,89 (< 0,01**)	- 0,98 (< 0,01**)
ΔE	-	-	-	-	-	0,87 (< 0,01**)

Em que: L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b* coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; ΔE= variação total da cor; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Faz-se necessário ainda destacar a correlação significativa entre as alterações nos parâmetros L* e h* com o ataque da podridão parda, de modo a corroborar com os resultados descritos por Amusant *et al.* (2008). Esse resultado sugere a possibilidade de realizar o monitoramento da deterioração da madeira, por meio da colorimetria, apenas, pela coordenada L*. Nesse sentido esse resultado tem um grande impacto, uma vez que a coordenada L* é dependente somente da componente Y, a qual pode ser medida por um único filtro de cor adequada, evitando a necessidade de colorímetros tristimulares que são mais dispendiosos. Tolvaj; Mitsui (2010) ao analisarem madeiras submetidas ao intemperismo natural e artificial também atribuem essa possibilidade.

Adicionalmente, constatou-se que o parâmetro C, das madeiras de *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*, também apresentou correlação negativa com o ataque do *Gloeophyllum*

trabeum, de modo a proporcionar uma coloração menos saturada. No entanto, para a madeira de *Simarouba amara* constatou-se que a correlação negativa não foi significativa, o que segundo Souza *et al.* (2010) se deve a interação entre a redução e o aumento das coordenadas a* e b*, respectivamente, mantendo-se, praticamente, a mesma saturação da cor.

Tabela 6.5 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e o período de exposição da madeira de *Cariniana micrantha* aos fungos apodrecedores.

<i>Trametes versicolor</i>						
	a*	b*	C	h*	ΔE	Período
L*	- 0,41 (0,17 ^{NS})	0,78 (< 0,01**)	0,75 (< 0,01**)	0,89 (< 0,01**)	0,96 (< 0,01**)	0,81 (< 0,01**)
a*	-	0,12 (0,69 ^{NS})	0,18 (0,54 ^{NS})	- 0,46 (0,11 ^{NS})	- 0,21 (0,49 ^{NS})	0,04 (0,89 ^{NS})
b*	-	-	0,99 (< 0,01**)	0,80 (< 0,01**)	0,92 (< 0,01**)	0,90 (< 0,01**)
C	-	-	-	0,76 (< 0,01**)	0,90 (< 0,01**)	0,90 (< 0,01**)
h*	-	-	-	-	0,92 (< 0,01**)	0,69 (< 0,01**)
ΔE	-	-	-	-	-	0,89 (< 0,01**)
<i>Gloeophyllum trabeum</i>						
	a*	b*	C	h*	ΔE	Período
L*	0,46 (0,11 ^{NS})	0,64 (0,02*)	0,62 (0,02*)	0,68 (< 0,01**)	- 0,99 (< 0,01**)	- 0,94 (< 0,01**)
a*	-	0,87 (< 0,01**)	0,90 (< 0,01**)	0,64 (0,02*)	- 0,41 (0,16 ^{NS})	- 0,70 (< 0,01**)
b*	-	-	0,99 (< 0,01**)	0,93 (< 0,01**)	- 0,56 (0,04*)	- 0,77 (< 0,01**)
C	-	-	-	0,91 (< 0,01**)	- 0,55 (0,05 ^{NS})	- 0,77 (< 0,01**)
h*	-	-	-	-	- 0,61 (0,03*)	- 0,73 (< 0,01**)
ΔE	-	-	-	-	-	0,93 (< 0,01**)

Em que: L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b* coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; ΔE= variação total da cor; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Com relação à exposição ao *Trametes versicolor*, observou-se que o parâmetro C na madeira das três espécies foi correlacionado positivamente, de maneira significativa, com o período de ataque do fungo. Além disso, evidenciou-se que esse aumento foi relacionado à coordenada b*, de modo a tornar o amarelecimento, ocasionado pela podridão branca, saturado.

Por sua vez, ao considerar o parâmetro h*, constatou-se que o mesmo correlacionou-se positivamente, de modo significativo, com o período de ataque de *Trametes versicolor* as

madeiras de *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*, enquanto que para *Simarouba amara* essa correlação foi negativa. Tais resultados podem ser elucidados em razão do aumento/redução da coordenada b*, de modo a atribuir tonalidades de amarelo mais claro, no caso das madeiras de jequitibá e cumarú, ou mais escurecido, como as amostras de marupá.

Tabela 6.6 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e o período de exposição da madeira de *Dipteryx odorata* aos fungos apodrecedores.

<i>Trametes versicolor</i>						
	a*	b*	C	h*	ΔE	Período
L*	- 0,32 (0,28 ^{NS})	0,08 (0,79 ^{NS})	0,02 (0,96 ^{NS})	0,25 (0,42 ^{NS})	- 0,98 (< 0,01**)	0,002 (0,99 ^{NS})
a*	-	- 0,21 (0,49 ^{NS})	0,004 (0,99 ^{NS})	- 0,76 (< 0,01**)	0,32 (0,29 ^{NS})	- 0,24 (0,42 ^{NS})
b*	-	-	0,98 (< 0,01**)	0,79 (< 0,01**)	0,09 (0,77 ^{NS})	0,86 (< 0,01**)
C	-	-	-	0,64 (0,02*)	0,16 (0,60 ^{NS})	0,84 (< 0,01**)
h*	-	-	-	-	- 0,13 (0,66 ^{NS})	0,70 (< 0,01**)
ΔE	-	-	-	-	-	0,17 (0,52 ^{NS})
<i>Gloeophyllum trabeum</i>						
	a*	b*	C	h*	ΔE	Período
L*	0,48 (0,10 ^{NS})	0,97 (< 0,01**)	0,98 (< 0,01**)	0,87 (< 0,01**)	- 0,99 (< 0,01**)	- 0,93 (< 0,01**)
a*	-	0,34 (0,26 ^{NS})	0,40 (0,17 ^{NS})	0,04 (0,89 ^{NS})	- 0,51 (0,08 ^{NS})	- 0,55 (0,05 ^{NS})
b*	-	-	0,99 (< 0,01**)	0,95 (< 0,01**)	- 0,96 (< 0,01**)	- 0,94 (< 0,01**)
C	-	-	-	0,92 (< 0,01**)	- 0,97 (< 0,01**)	- 0,95 (< 0,01**)
h*	-	-	-	-	- 0,86 (< 0,01**)	- 0,83 (< 0,01**)
ΔE	-	-	-	-	-	0,94 (< 0,01**)

Em que: L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b* coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; ΔE= variação total da cor; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Ao analisar a ΔE, pode-se perceber que a mesma apresentou correlação significativamente positiva com o período de ataque de ambos os fungos às madeiras, exceto para as amostras de cumarú submetidas a podridão branca.

Nas Tabelas 6.7 e 6.8 são apresentados os valores da ΔE atribuídas pelos fungos de podridão branca e parda, respectivamente, bem como as classificações sugeridas para cada intervalo.

Tabela 6.7 Variação total da cor (ΔE) das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas ao ataque do fungo apodrecedor *Trametes versicolor*.

P	<i>Simarouba amara</i> - <i>Trametes versicolor</i>			<i>Cariniana micrantha</i> - <i>Trametes versicolor</i>			<i>Dipteryx odorata</i> - <i>Trametes versicolor</i>		
	ΔE	Classificação ¹	Classificação ²	ΔE	Classificação ¹	Classificação ²	ΔE	Classificação ¹	Classificação ²
1	7,96	Muito apreciável	Perceptível	5,94	Apreciável	Perceptível	6,99	Muito apreciável	Perceptível
2	8,45	Muito apreciável	Muito perceptível	9,59	Muito apreciável	Muito perceptível	7,08	Muito apreciável	Perceptível
3	7,81	Muito apreciável	Perceptível	10,54	Muito apreciável	Muito perceptível	3,70	Apreciável	Ligeiramente perceptível
4	9,80	Muito apreciável	Muito perceptível	13,60	S/C	Muito perceptível	5,15	Apreciável	Perceptível
6	9,02	Muito apreciável	Muito perceptível	17,38	S/C	Muito perceptível	6,88	Muito apreciável	Perceptível
8	9,10	Muito apreciável	Muito perceptível	16,94	S/C	Muito perceptível	7,65	Muito apreciável	Perceptível
10	12,09	S/C	Muito perceptível	16,93	S/C	Muito perceptível	7,91	Muito apreciável	Perceptível
12	13,03	S/C	Muito perceptível	19,51	S/C	Muito perceptível	5,33	Apreciável	Perceptível
14	13,21	S/C	Muito perceptível	18,00	S/C	Muito perceptível	5,37	Apreciável	Perceptível
16	14,78	S/C	Muito perceptível	20,92	S/C	Muito perceptível	4,17	Apreciável	Perceptível
18	14,45	S/C	Muito perceptível	21,67	S/C	Muito perceptível	5,79	Apreciável	Perceptível
20	14,14	S/C	Muito perceptível	22,78	S/C	Muito perceptível	5,72	Apreciável	Perceptível

Em que: P= período de exposição aos fungos (semanas); ΔE = variação total da cor; S/C= sem classificação; ¹= classificação proposta por Cui *et al.* (2004) - Tabela 4.6; ²= classificação proposta nesse estudo - Tabela 6.9.

Tabela 6.8 Variação total da cor (ΔE) das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas ao ataque do fungo apodrecedor *Gloeophyllum trabeum*.

P	<i>Simarouba amara</i> - <i>Gloeophyllum trabeum</i>			<i>Cariniana micrantha</i> - <i>Gloeophyllum trabeum</i>			<i>Dipteryx odorata</i> - <i>Gloeophyllum trabeum</i>		
	ΔE	Classificação ¹	Classificação ²	ΔE	Classificação ¹	Classificação ²	ΔE	Classificação ¹	Classificação ²
1	6,69	Muito apreciável	Perceptível	6,88	Muito apreciável	Perceptível	4,40	Apreciável	Perceptível
2	18,89	S/C	Muito perceptível	11,55	Muito apreciável	Muito perceptível	5,31	Apreciável	Perceptível
3	20,27	S/C	Muito perceptível	11,85	Muito apreciável	Muito perceptível	6,59	Apreciável	Perceptível
4	22,14	S/C	Muito perceptível	11,69	Muito apreciável	Muito perceptível	6,72	Apreciável	Perceptível
6	21,24	S/C	Muito perceptível	15,43	S/C	Muito perceptível	15,76	S/C	Muito perceptível
8	24,97	S/C	Muito perceptível	19,56	S/C	Muito perceptível	20,20	S/C	Muito perceptível
10	30,56	S/C	Muito perceptível	20,53	S/C	Muito perceptível	21,56	S/C	Muito perceptível
12	31,49	S/C	Muito perceptível	23,41	S/C	Muito perceptível	21,15	S/C	Muito perceptível
14	29,99	S/C	Muito perceptível	20,56	S/C	Muito perceptível	24,44	S/C	Muito perceptível
16	33,60	S/C	Muito perceptível	25,82	S/C	Muito perceptível	24,64	S/C	Muito perceptível
18	31,64	S/C	Muito perceptível	25,36	S/C	Muito perceptível	24,83	S/C	Muito perceptível
20	36,20	S/C	Muito perceptível	26,63	S/C	Muito perceptível	25,42	S/C	Muito perceptível

Em que: P= período de exposição aos fungos (semanas); ΔE = variação total da cor; S/C= sem classificação; ¹= classificação proposta por Cui *et al.* (2004) - Tabela 4.6; ²= classificação proposta nesse estudo - Tabela 6.9.

Pode-se verificar que a magnitude da ΔE foi maior no ataque proporcionado pela podridão parda, independente da espécie florestal, o que se justifica em razão da acentuada variação da coordenada L^* .

Adicionalmente, pode-se ressaltar que ao considerar a coloração inicial, antes do ataque fúngico, as madeiras mais claras (+ L^* , - a^* e - b^*), no caso da *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha*, apresentaram maior ΔE quando comparada a madeira de *Dipteryx odorata*, mais escura (- L^* , + a^* e + b^*), invariável ao fungo apodrecedor. Esse resultado corrobora com o exposto por Baar; Gryc (2012) e Costa (2009) ao avaliarem a resistência natural, fotodescoloração e deterioração biológica, respectivamente, de madeiras tropicais.

Da mesma forma, pode-se estabelecer comparativo entre a quantidade de extrativos das três madeiras e a ΔE . Em que a madeira de cumarú por possuir, em sua constituição química (Tabela 6.1), maior presença de substâncias extrativas, apresentou menor ΔE , em comparação a marupá e jequitibá. Considerações semelhantes as registradas por Pandey (2005) e Oltean *et al.* (2010). Diante das considerações a cerca da ΔE pode-se afirmar que quanto menor a sua magnitude, maior é a atribuição de resistência natural da madeira.

Segundo Hon; Shiraishi (1991), o olho humano é capaz de distinguir diferenças colorimétricas, apenas, quando essas apresentam valores da ΔE entre 2-3. Por outro lado, com o emprego de equipamentos colorimétricos, tais valores podem ser, de acordo com Cui *et al.*, (2004), classificados em cinco níveis de percepção (Tabela 4.6). No entanto, em razão da insuficiente abrangência da classificação de variação colorimétrica de Cui *et al.*, (2004), em que diversos valores apresentaram-se sem enquadramento, foi proposto, no presente estudo, nova classificação com menor número de níveis e com maior abrangência (Tabela 6.9).

Tabela 6.9 Classificação proposta para a variação total da cor (ΔE) de madeiras.

Variação total da cor (ΔE)	Classificação colorimétrica
0 - 4,0	Ligeiramente perceptível
4,1 - 8,0	Perceptível
Acima de 8,1	Muito perceptível

Os modelos estatísticos de predição das alterações colorimétricas na madeira de cada espécie florestal em função do período de exposição aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* são apresentados nas Figuras de 6.13 a 6.18.

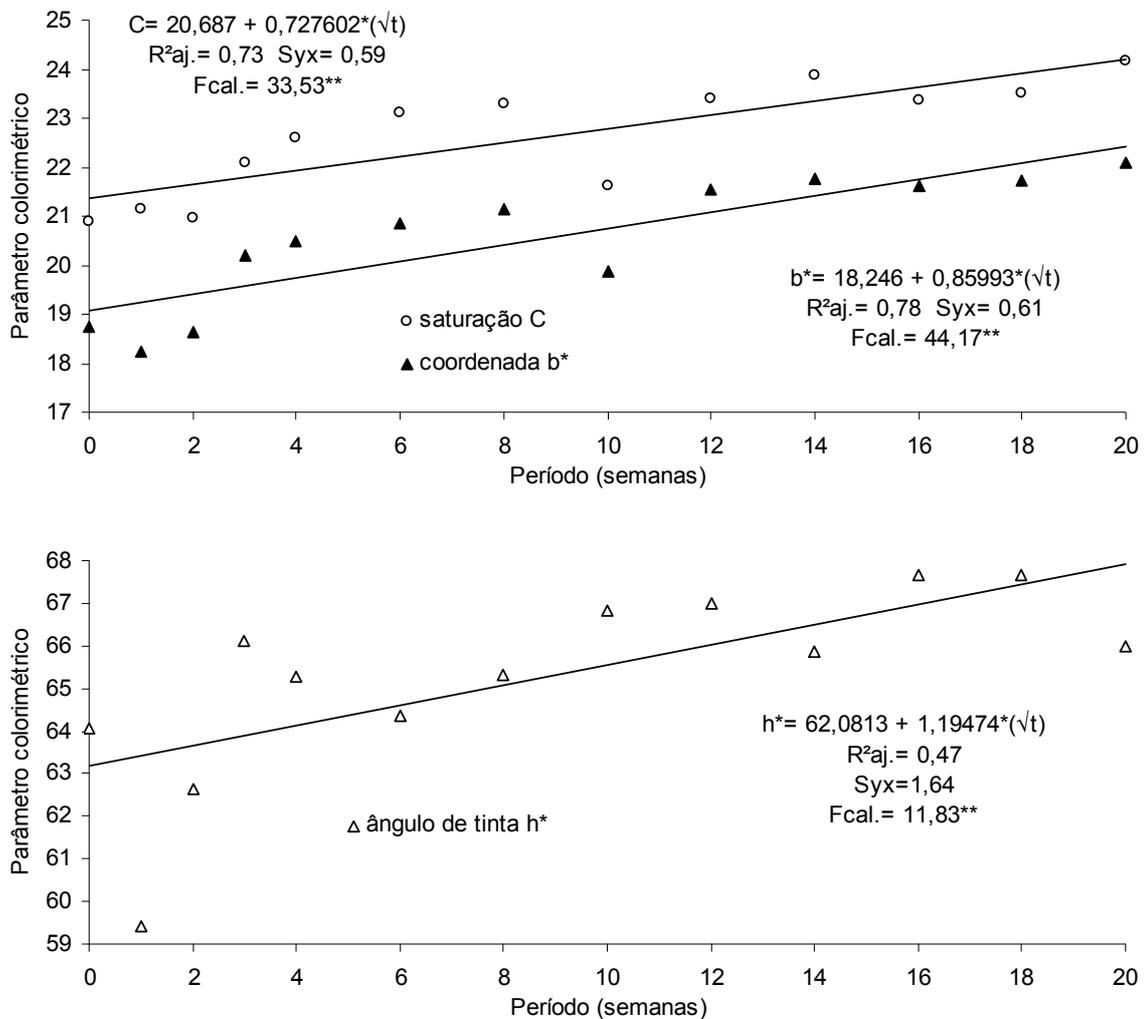


Figura 6.13 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos b*, C e h* da madeira de *Dipteryx odorata* em função do tempo de exposição ao fungo *Trametes versicolor*.

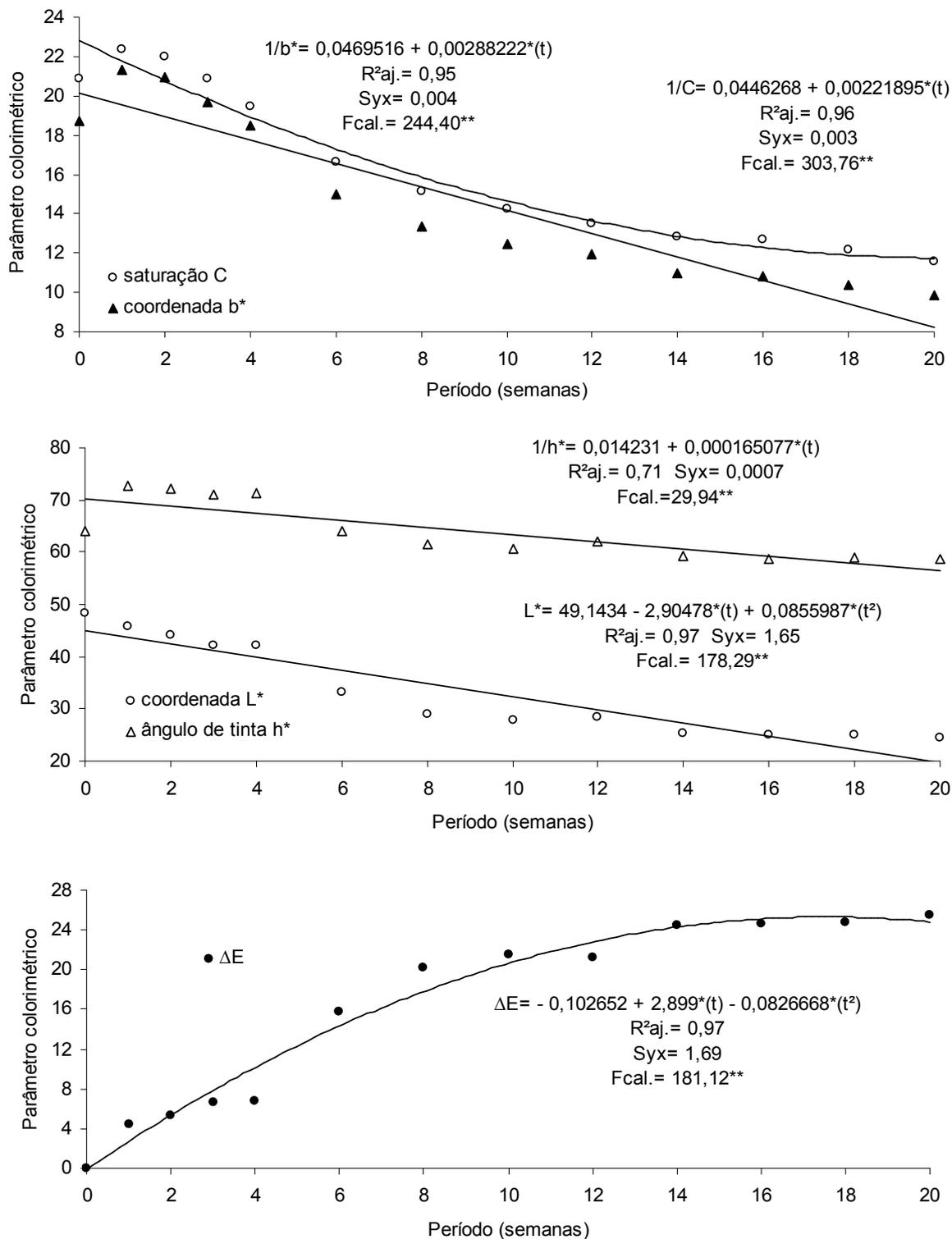


Figura 6.14 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos L^* , b^* , C , h^* e ΔE da madeira de *Dipteryx odorata* em função do tempo de exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*.

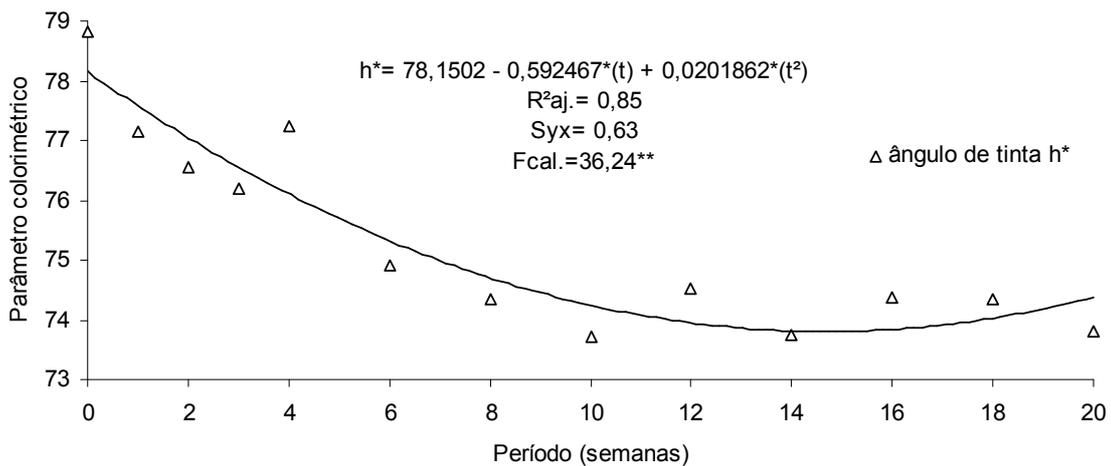
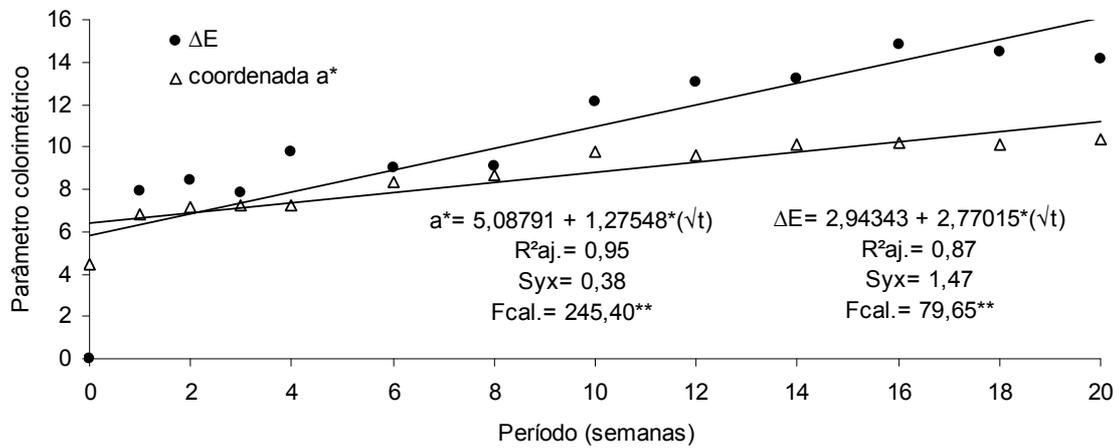
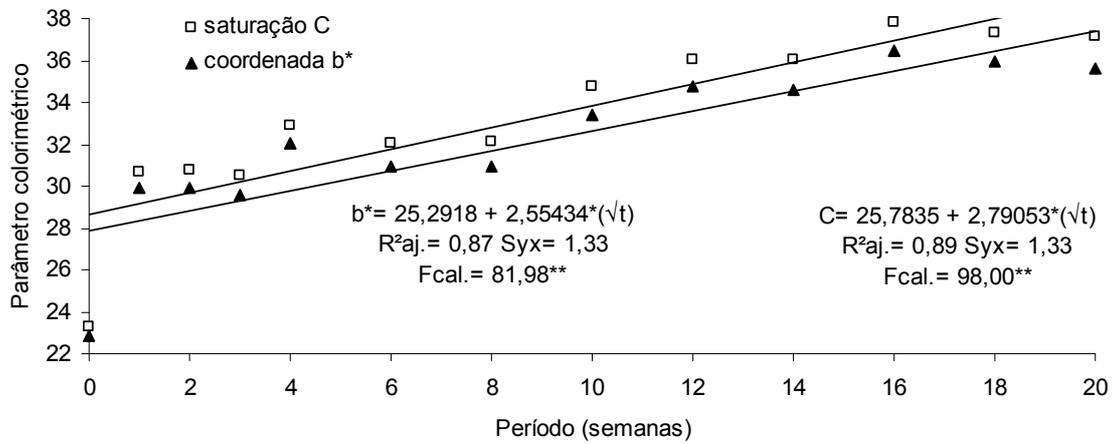


Figura 6.15 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos a*, b*, C, h* e ΔE da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição ao fungo *Trametes versicolor*.

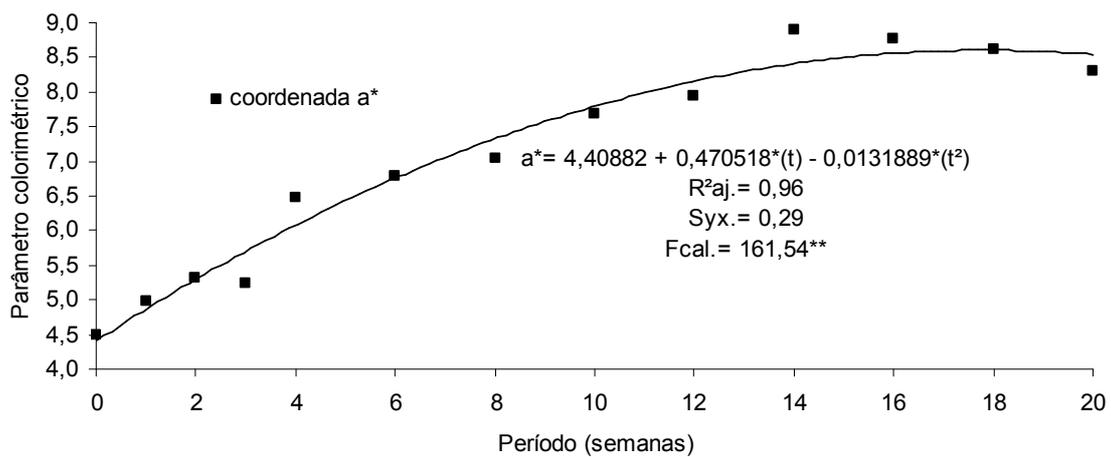
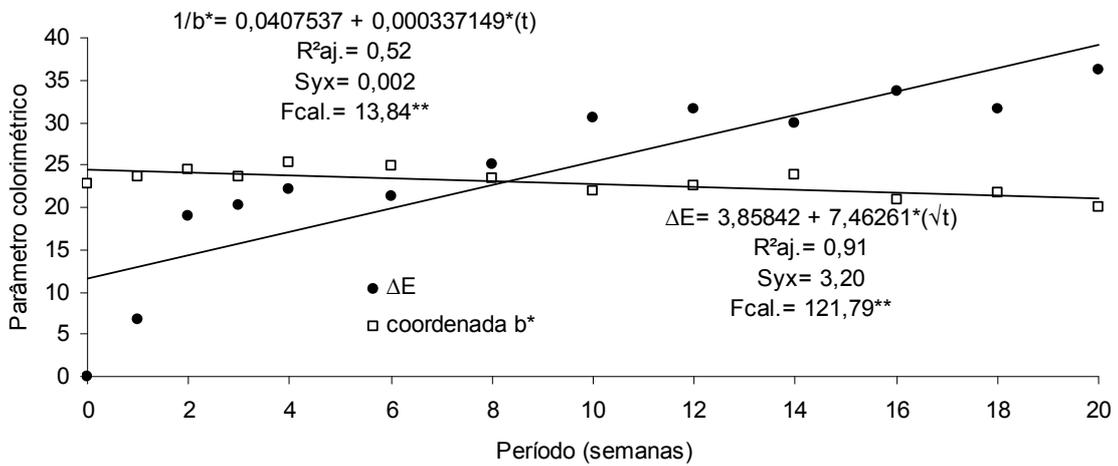
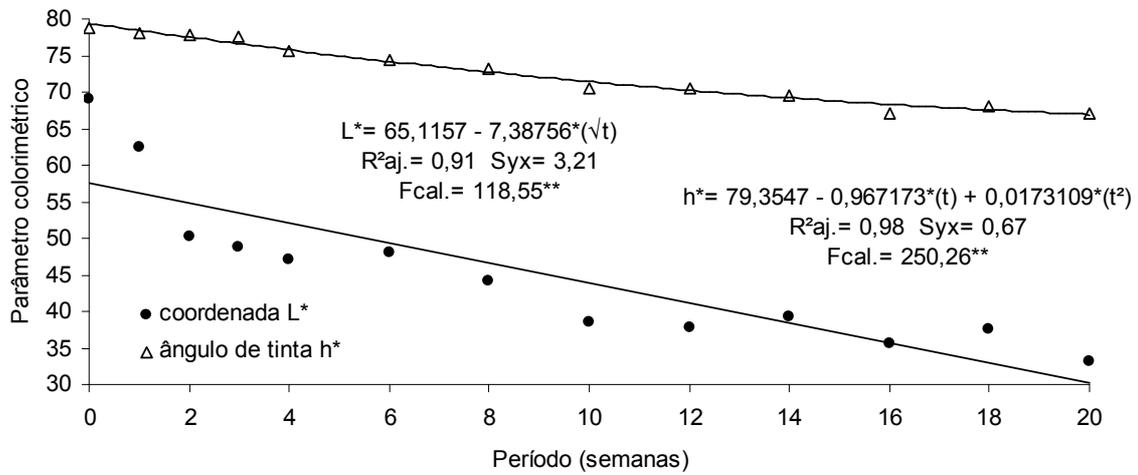


Figura 6.16 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos L*, a*, b*, h* e ΔE da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição ao fungo de *Gloeophyllum trabeum*.

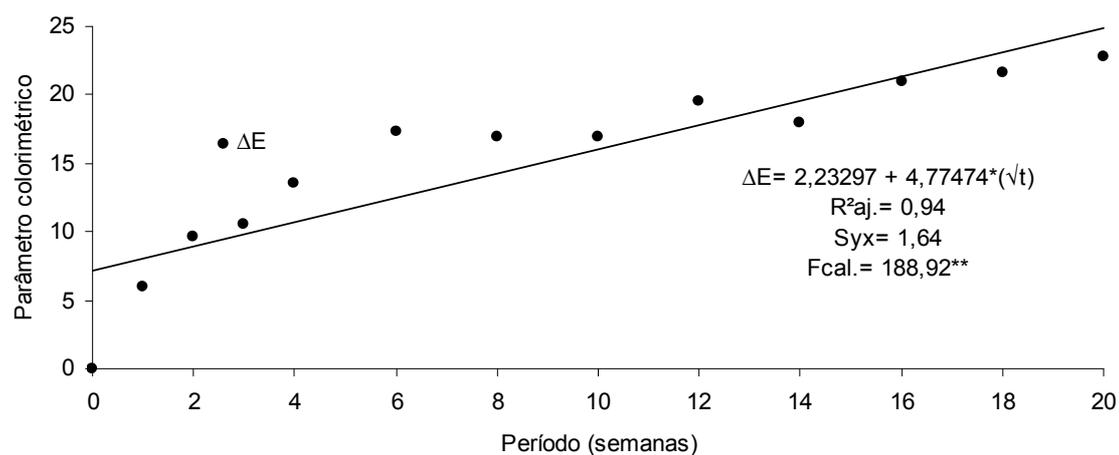
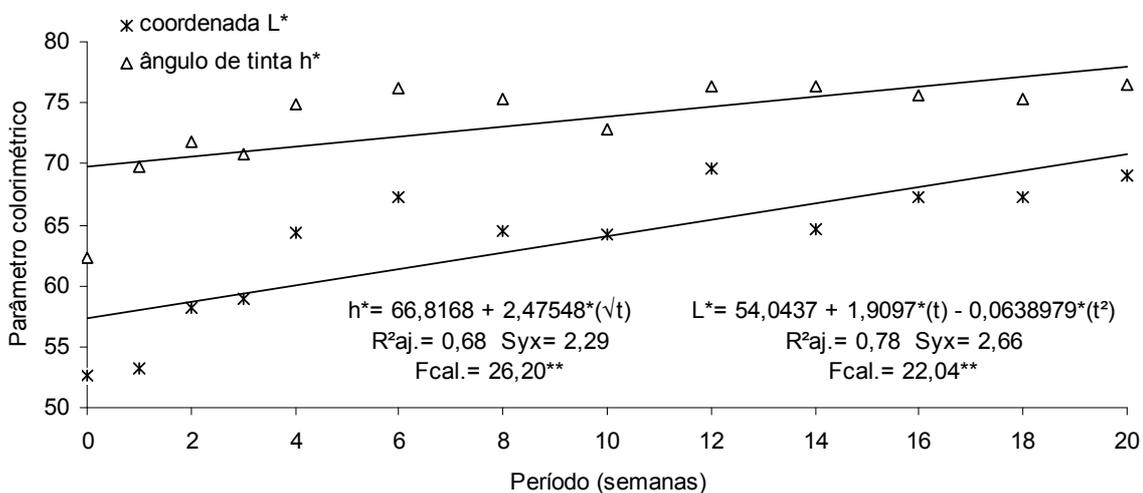
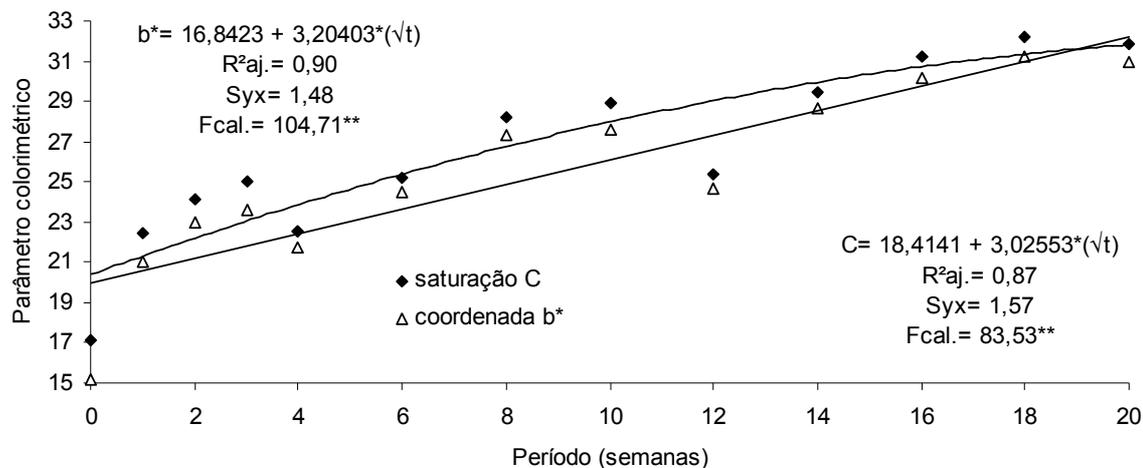


Figura 6.17 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos L*, b* C, h* e ΔE da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição ao fungo *Trametes versicolor*.

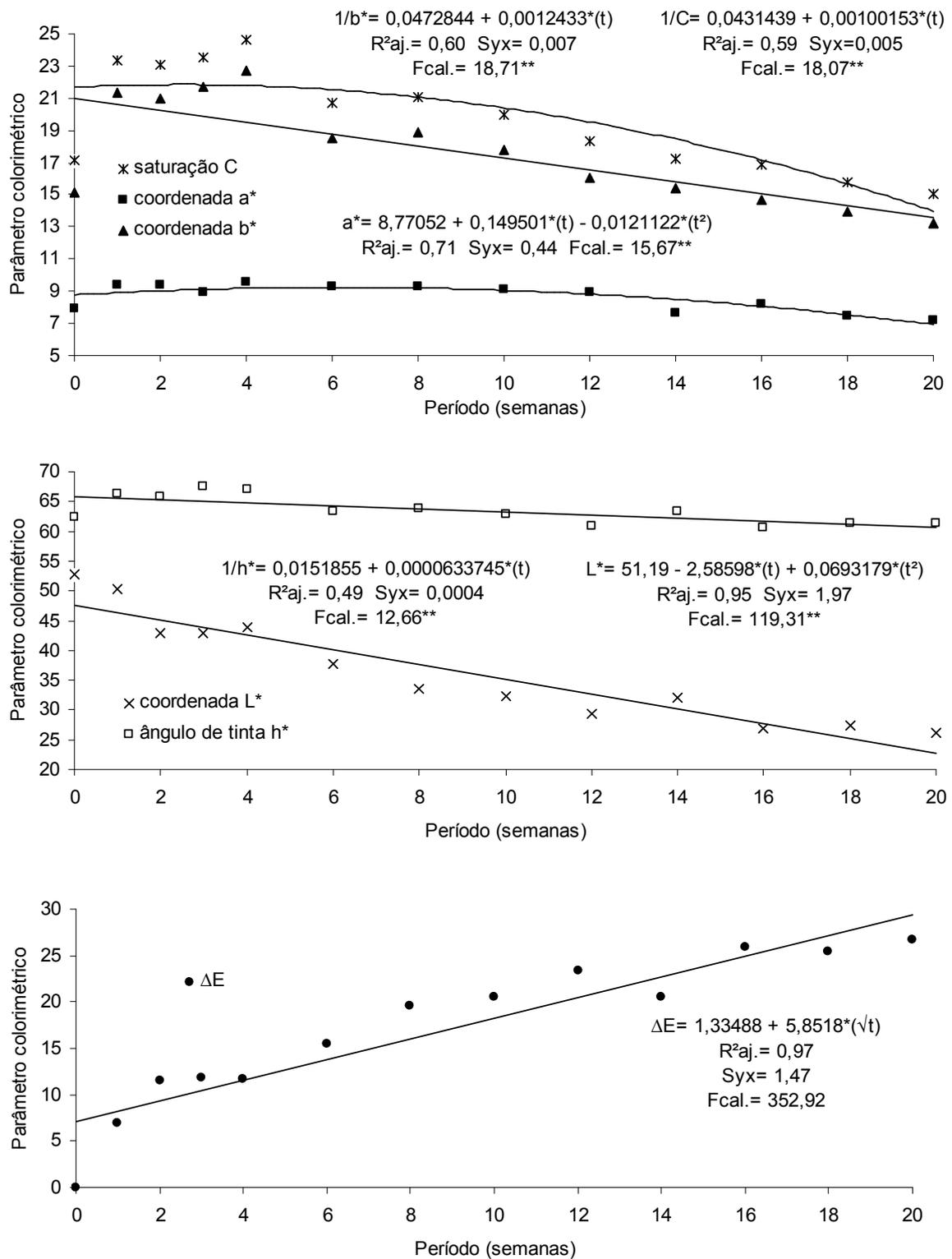


Figura 6.18 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração dos parâmetros colorimétricos L*, a*, b*, C, h* e ΔE da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*.

Por meio da análise dos parâmetros estatísticos ($R^2_{aj.}$, S_{yx} e valor de F calculado), pode-se observar que, de maneira geral, os modelos estatísticos foram satisfatórios, sendo os ajustes significativos a 1%. Para as madeiras de *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* verificou-se que os melhores ajustes preditivos foram observados para as coordenadas L^* (podridão parda) e b^* (podridão branca), enquanto que para as amostras de *Simarouba amara* foi ao empregar a coordenada a^* (podridão branca) e b^* (podridão parda).

Ao considerar a ΔE foi possível constatar que as amostras submetidas ao *Gloeophyllum trabeum* apresentaram melhores modelos preditivos, o que pode ser justificado pela maior amplitude da alteração da cor proporcionada pelo respectivo fungo.

Na Tabela 6.10 são apresentadas as matrizes de correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* e a perda de massa causada pelo ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

Mediante análise dos parâmetros estatísticos, verificou-se que mais de uma coordenada colorimétrica básica apresentou correlação com a perda de massa dentro de cada fungo apodrecedor e espécie florestal, exceto para a podridão branca na madeira de *Dipteryx odorata*.

De maneira geral, as correlações foram semelhantes às registradas para o período de exposição aos fungos apodrecedores. Em que, as coordenadas L^* e b^* foram os principais parâmetros influenciados pelos fungos de podridão parda e branca, de modo a proporcionar o escurecimento e amarelecimento das amostras de madeira, respectivamente.

Ao avaliar a resistência natural da madeira de *Tectona grandis* a ação de dois fungos causadores de podridão parda, *Gloeophyllum trabeum* e *Antrodia* sp., Kokutse *et al.* (2006) verificaram que a coordenada L^* apresentou correlação significativa a 1% com a perda de massa. Por sua vez, ao considerar as coordenadas a^* e b^* , os mesmos autores não obtiveram correlações significativas, não sendo possível o emprego de tais parâmetros como estimadores

da perda de massa.

Tabela 6.10 Correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e a perda de massa das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* atacadas pelos fungos apodrecedores.

<i>Simarouba amara</i>						
	L*	a*	b*	C	h*	ΔE
PM - TV	- 0,15	0,94	0,87	0,88	- 0,88	0,87
(%)	(0,63 ^{NS})	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)
PM - GT	- 0,97	0,96	- 0,56	- 0,32	- 0,95	0,97
(%)	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(0,04*)	(0,29 ^{NS})	(< 0,01**)	(< 0,01**)
<i>Cariniana micrantha</i>						
	L*	a*	b*	C	h*	ΔE
PM - TV	0,85	- 0,05	0,88	0,87	0,74	0,91
(%)	(< 0,01**)	(0,86 ^{NS})	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)
PM - GT	- 0,95	- 0,65	- 0,77	- 0,77	- 0,76	0,94
(%)	(< 0,01**)	(0,015*)	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)
<i>Dipteryx odorata</i>						
	L*	a*	b*	C	h*	ΔE
PM - TV	- 0,11	- 0,05	0,81	0,81	0,57	0,24
(%)	(0,72 ^{NS})	(0,86 ^{NS})	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(0,04*)	(0,43 ^{NS})
PM - GT	- 0,87	- 0,54	- 0,90	- 0,91	- 0,80	0,89
(%)	(< 0,01**)	(0,05 ^{NS})	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)	(< 0,01**)

Em que: L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b* coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; ΔE= variação total da cor; PM - TV= perda de massa da madeira atacada pelo fungo *Trametes versicolor*; PM - GT= perda de massa da madeira atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Entretanto, no presente estudo, além do L*, pode-se observar que as coordenadas a* e b* também colaboraram como indicadores da perda de massa das madeiras de marupá e jequitibá, enquanto que para o cumarú, apenas, a coordenada b*.

Em relação aos fungos *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus*, causadores de podridão branca, Kokutse *et al.* (2006) constataram que as coordenadas colorimétricas L*, a* e b* da madeira de *Tectona grandis* foram significativamente alteradas com a perda de massa.

Porém, verificou-se no presente estudo que nem todos os parâmetros colorimétricos básicos apresentaram correlação com a perda de massa à podridão branca, em que adicional ao parâmetro b*, apenas, o a* e o L* foram significativamente influenciados com a perda de

massa das madeiras de marupá e jequitibá, respectivamente.

De acordo com Klumpers *et al.* (1994), Dellus *et al.* (1997 a, b) e Burtin *et al.* (1998) o parâmetro colorimétrico a^* apresenta estreita relação com os compostos fenólicos de diferentes madeiras, sendo essa classe de extrativos, de maneira geral, a responsável pela durabilidade natural da madeira. Em complemento, Gierlinger *et al.* (2003) estabeleceram correlação indireta entre a resistência biológica de madeiras do gênero *Larix* ao ataque de fungos apodrecedores e o parâmetro colorimétrico a^* . Nesse sentido, pode-se destacar que a baixa correlação verificada entre a alteração do parâmetro colorimétrico a^* e a perda de massa das madeiras de *Dipteryx odorata*, para ambos os fungos apodrecedores e *Cariniana micrantha*, para o fungo *Trametes versicolor*, pode estar relacionada a presença de compostos fenólicos. Adicionalmente, constatou-se que as referidas madeiras foram as que apresentaram os maiores valores para a coordenada a^* , quando comparada à madeira de *Simarouba amara*, podendo assim afirmar que a maior intensidade do respectivo parâmetro foi responsável pela maior resistência biológica das mesmas, corroborando com Amusant *et al* (2004, 2008).

Outro ponto a ser destacado foi a correlação significativa entre a ΔE e a perda de massa ocasionada pelos fungos xilófagos, exceto para a madeira de *Dipteryx odorata* atacada pelo fungo de podridão branca. Para o ataque de *Gloeophyllum trabeum* as maiores ΔE foram verificadas na madeira de *Simarouba amara*, seguida de *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* (Tabela 6.8), podendo-se observar que com o aumento da perda de massa ocorreu um acréscimo da ΔE . Com relação ao fungo *Trametes versicolor*, apesar da madeira de *Dipteryx odorata* ter apresentado a menor ΔE , verificou-se que quando comparada as madeiras de *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha*, essa última apresentou maior ΔE (Tabela 6.7).

Nas Figuras de 6.19 a 6.24 são apresentados os modelos estatísticos preditivos das perdas de massa de cada espécie florestal em função das alterações colorimétricas provocadas pelo ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

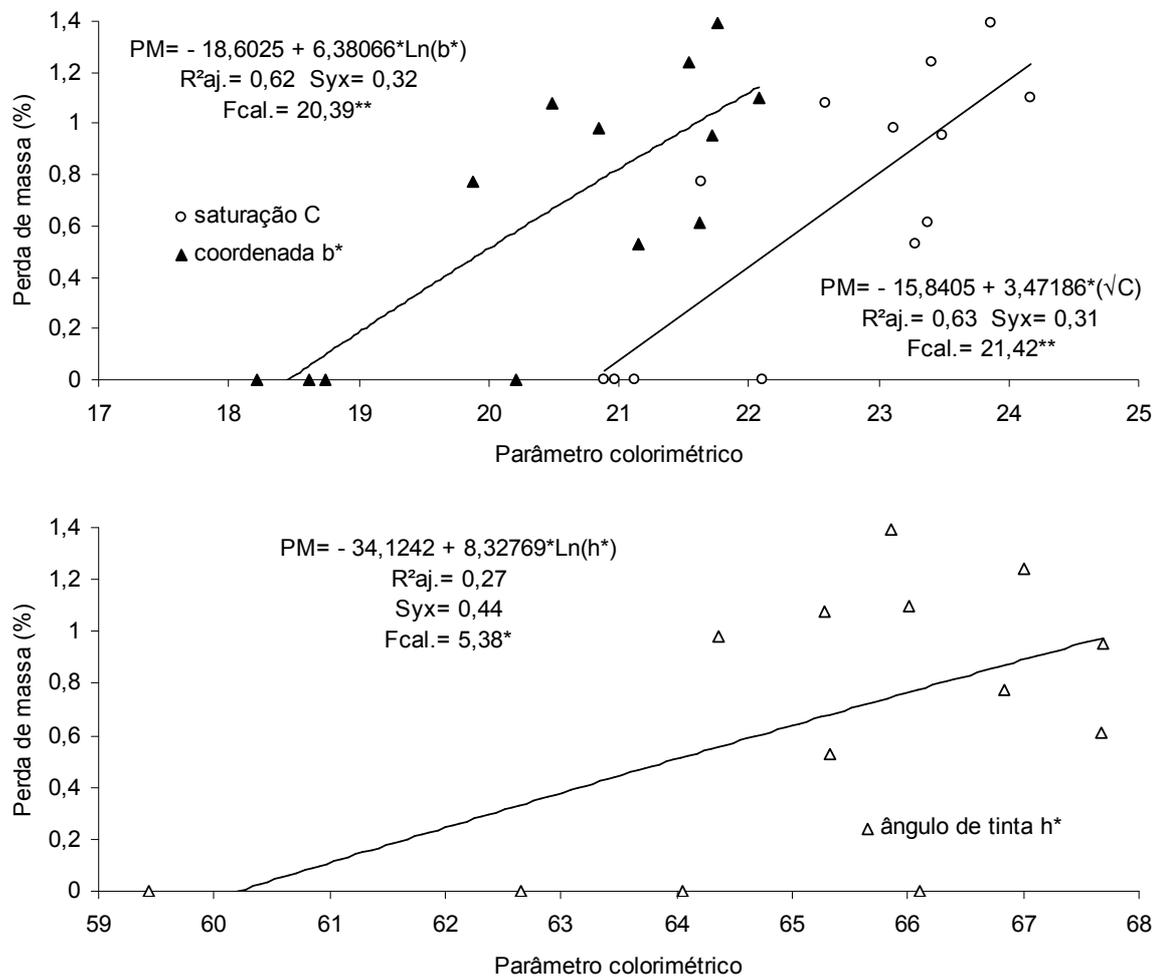


Figura 6.19 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Dipteryx odorata* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo *Trametes versicolor*.

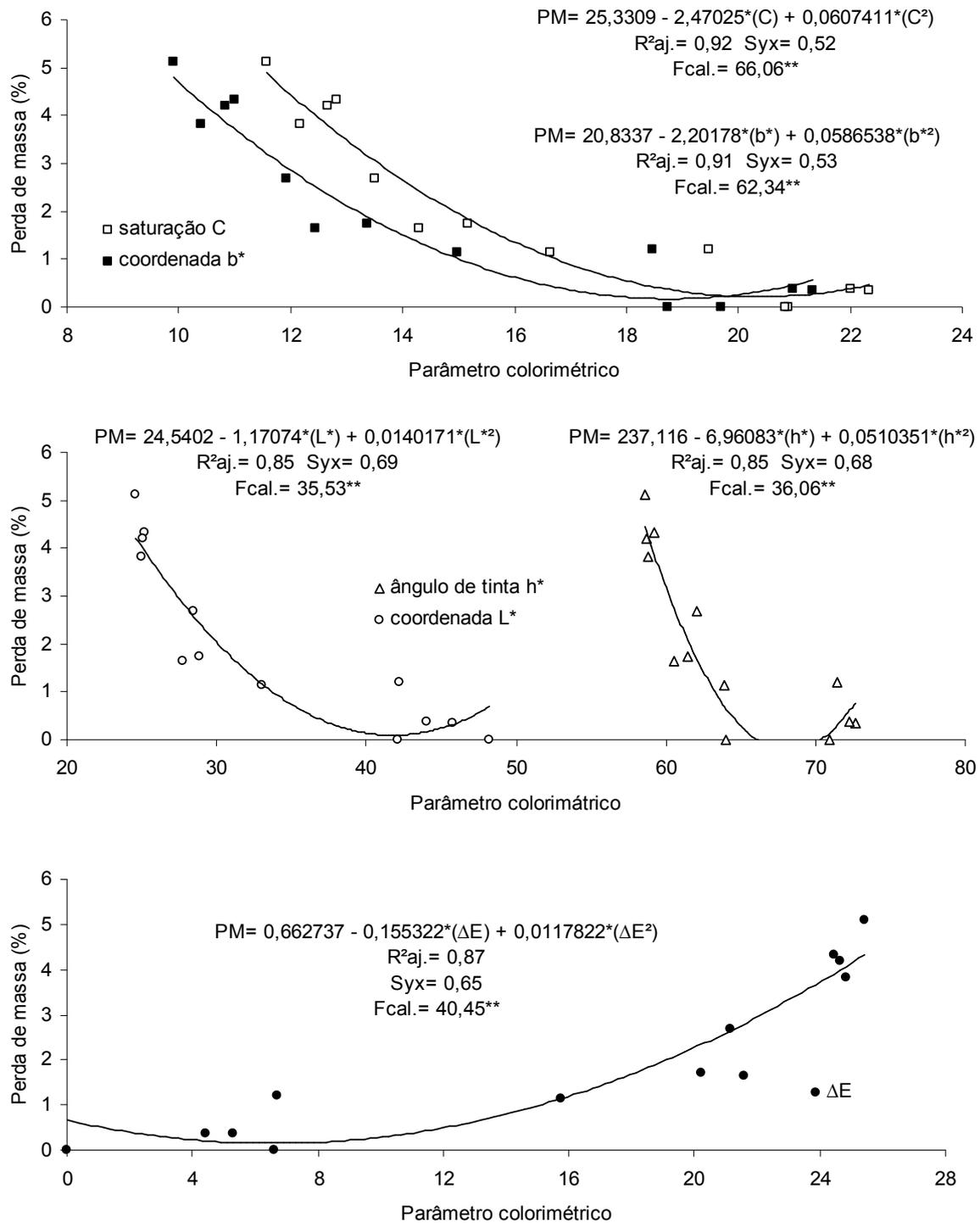


Figura 6.20 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Dipteryx odorata* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*.

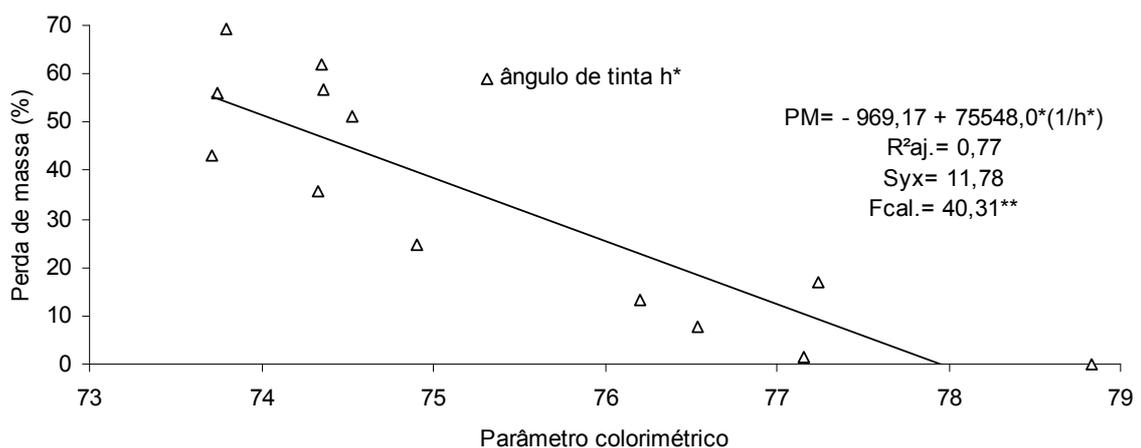
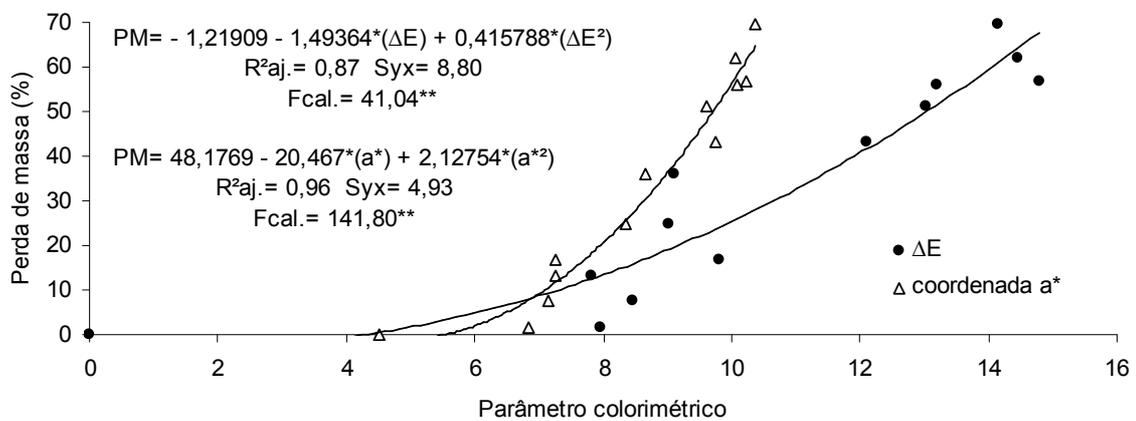
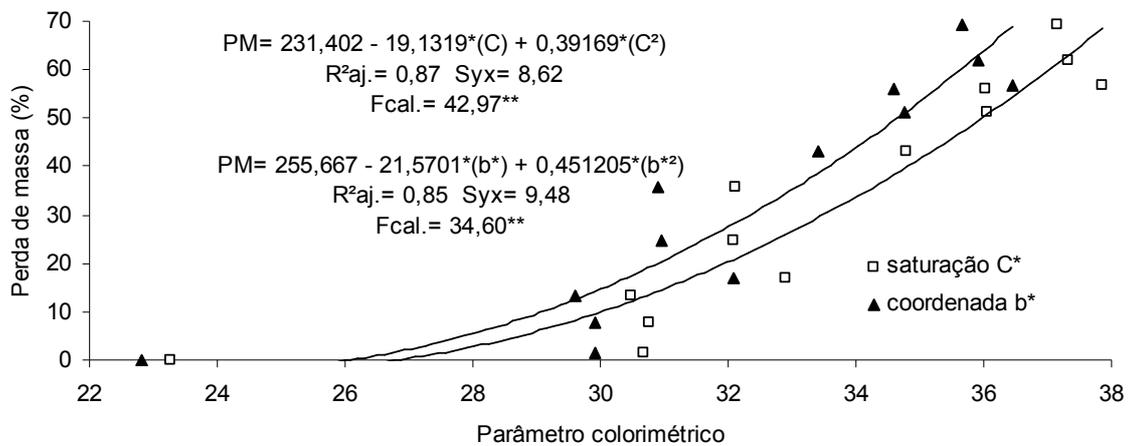


Figura 6.21 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Simarouba amara* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo *Trametes versicolor*.

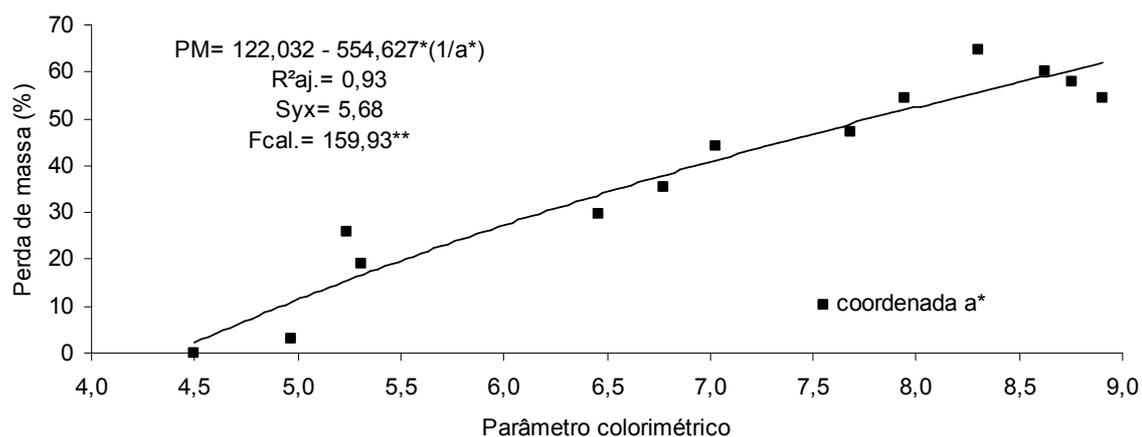
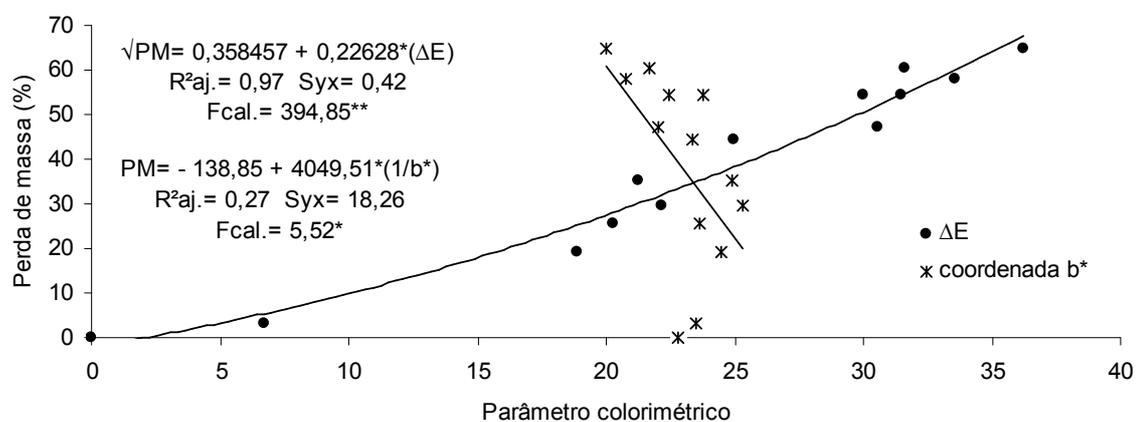
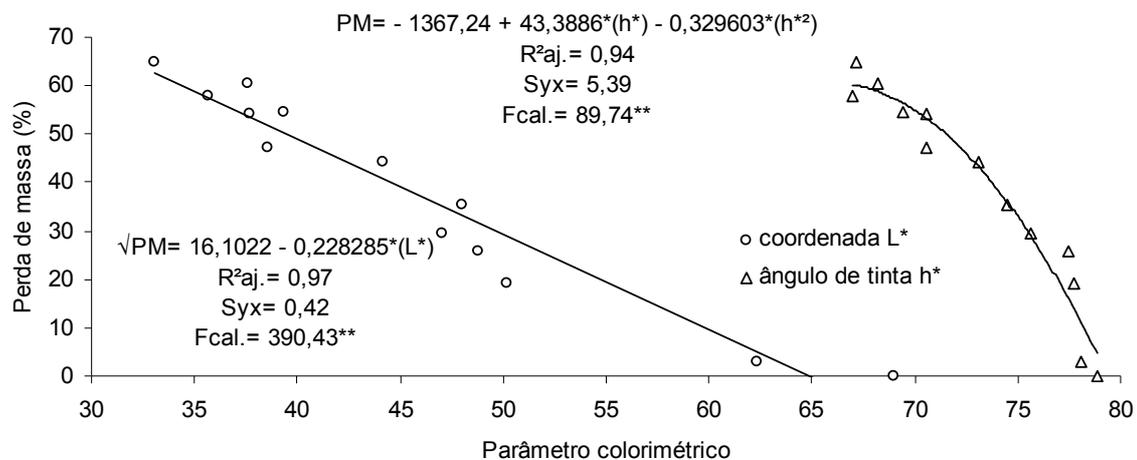


Figura 6.22 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Simarouba amara* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*.

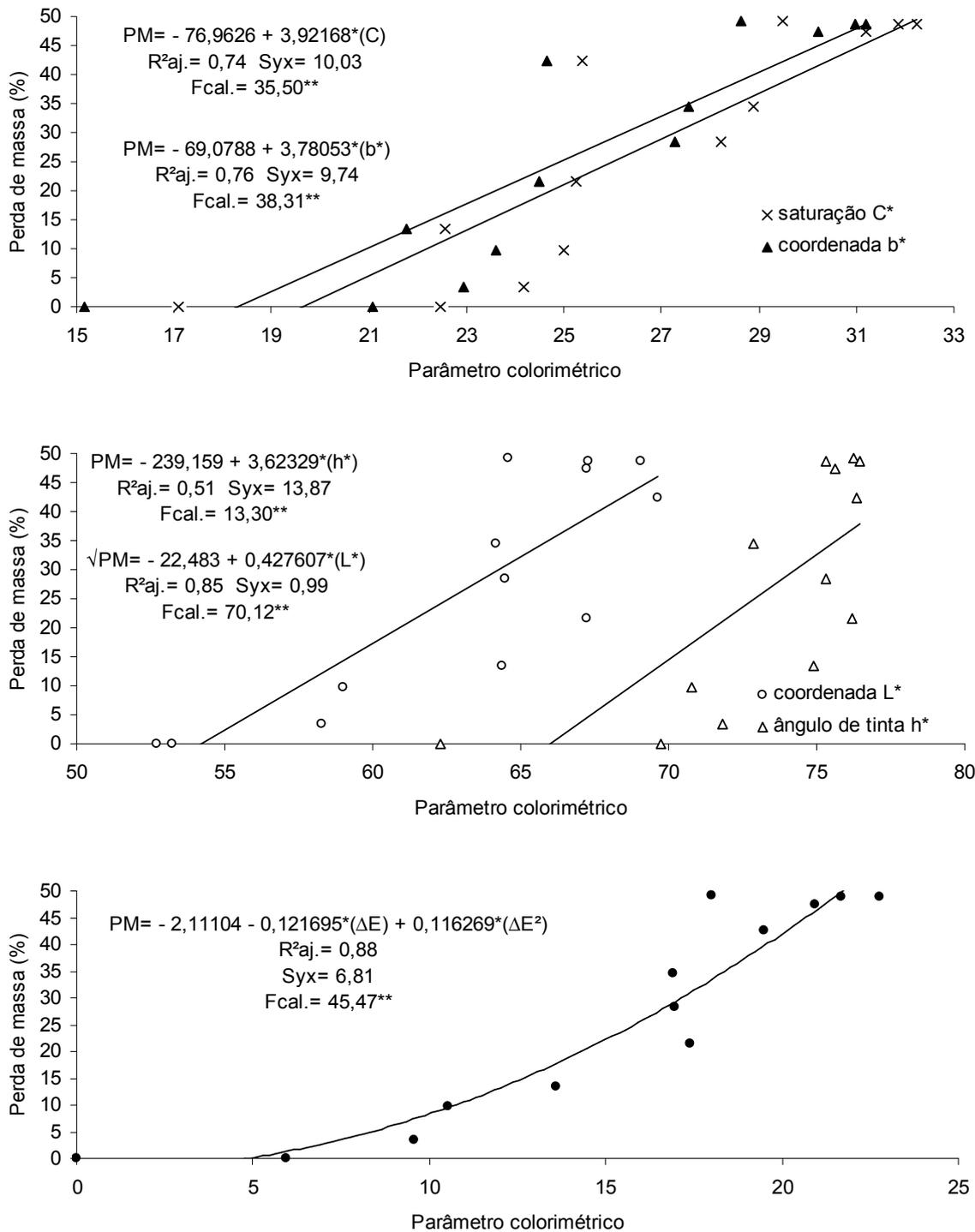


Figura 6.23 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo *Trametes versicolor*.

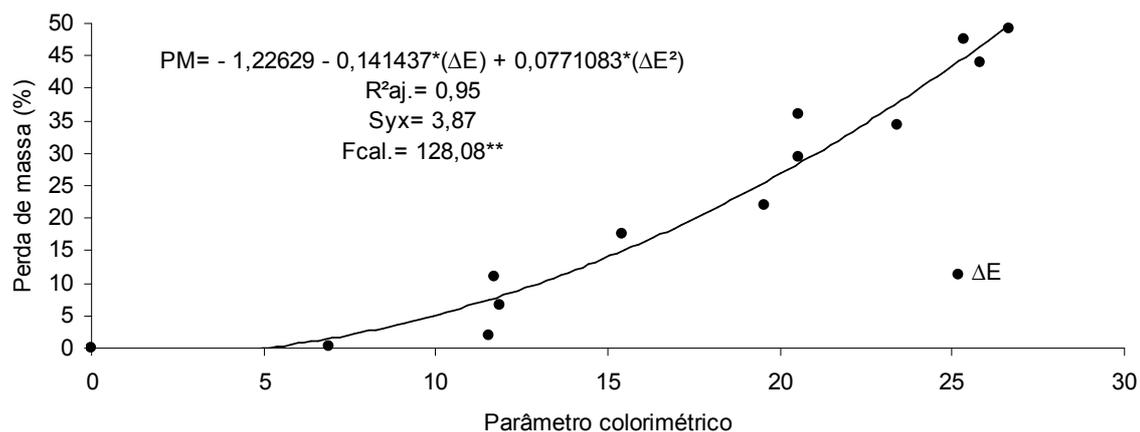
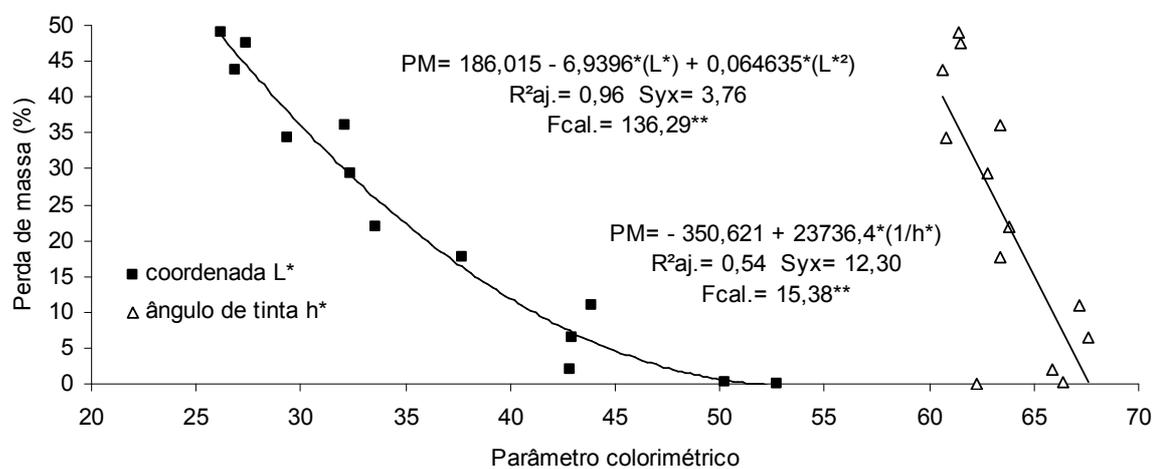
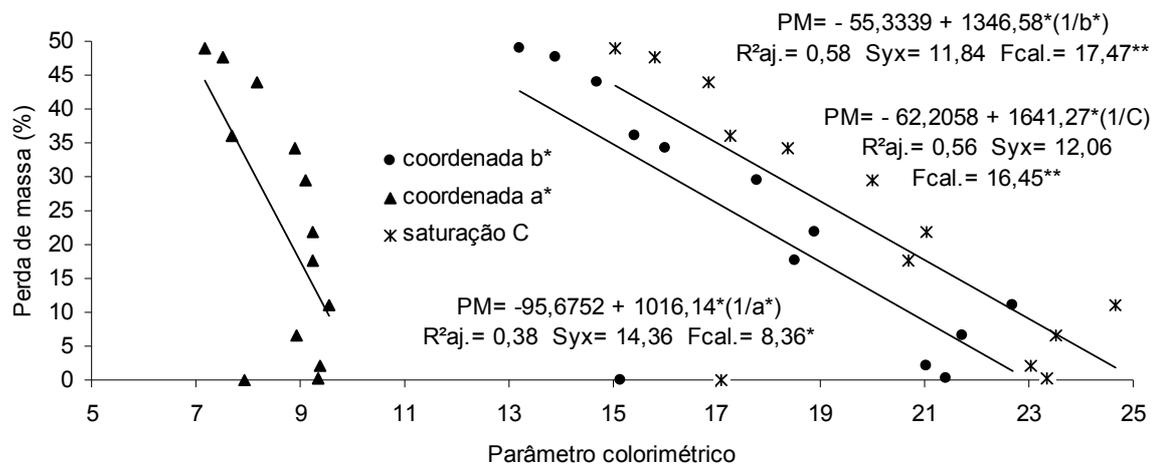


Figura 6.24 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*.

6.3 ALTERAÇÃO DA DUREZA ROCKWELL

Nas Figuras 6.25 a 6.27 e Apêndice 6 são apresentados os valores médios e os desvios padrões da dureza Rockwell das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

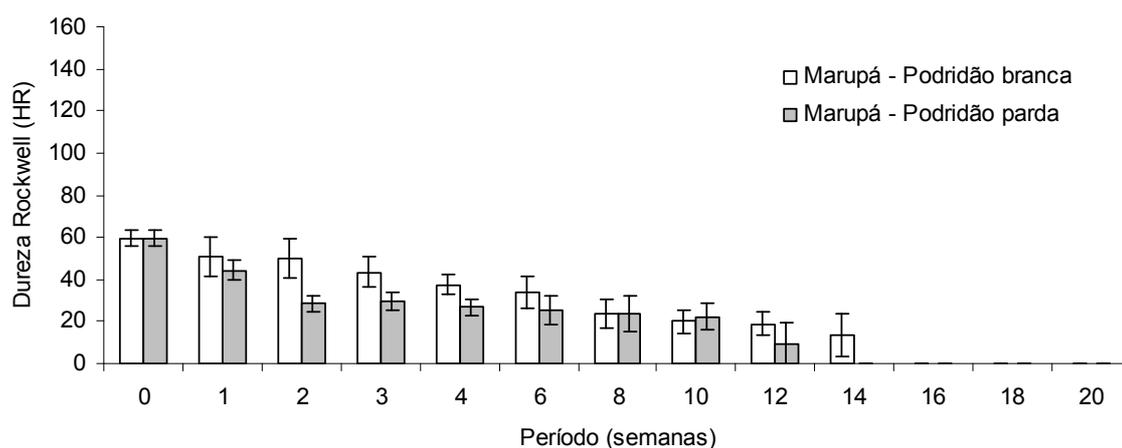


Figura 6.25 Dureza Rockwell da madeira de *Simarouba amara* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

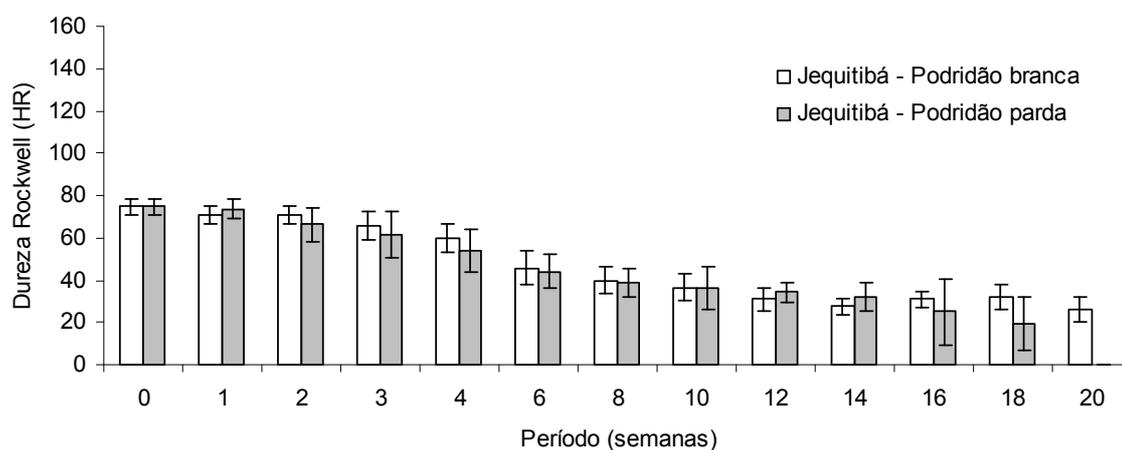


Figura 6.26 Dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

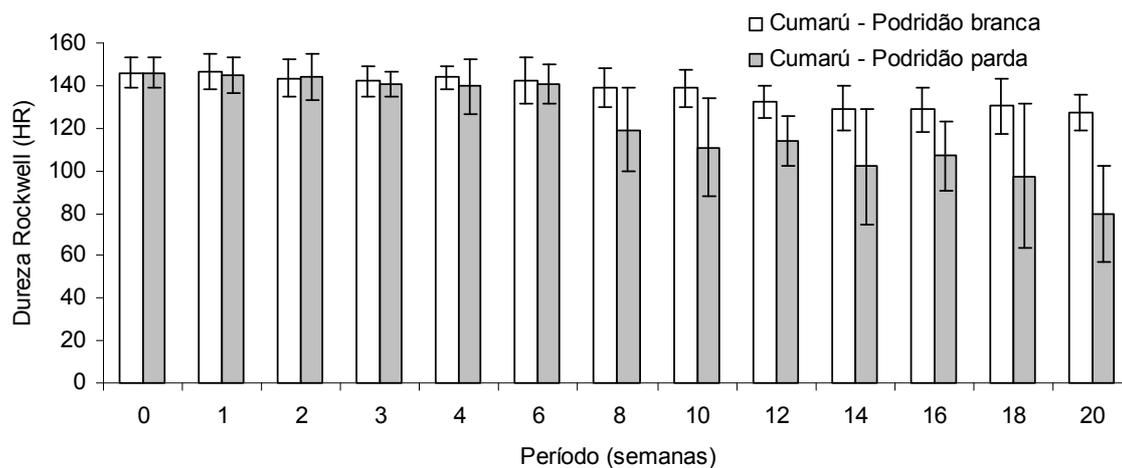


Figura 6.27 Dureza Rockwell da madeira de *Dipteryx odorata* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

A propriedade mecânica de dureza Rockwell apresentou variação significativa para o período de ataque dos fungos apodrecedores dentro de cada espécie florestal, conforme se pode constatar no teste de médias (Apêndice 6). Semelhante ao verificado para a perda de massa, de maneira geral, as médias de dureza Rockwell da madeira das três espécies não apresentaram estabilização entre a 8ª e 12ª semana de ensaio de apodrecimento.

A partir da 12ª semana, a madeira de *Simarouba amara* foi a única que apresentou estabilização da dureza Rockwell, quando considerados os dois tipos de fungos apodrecedores. Diferentemente do observado para a perda de massa, verificou-se que a estabilização ocorreu em primeiro momento nas amostras submetidas à podridão parda (14ª semana), quando comparada às atacadas pela podridão branca (16ª semana). Porém, é importante ressaltar que tal estabilização ocorreu no momento em que as amostras de marupá apresentaram perda total da resistência mecânica. Para a madeira de *Dipteryx odorata*, verificou-se que a dureza Rockwell manteve-se constante, apenas, quando considerada as amostras expostas ao fungo de podridão branca, sendo essa a partir da 12ª semana. Por sua vez, as amostras de *Cariniana micrantha* apresentaram valores de dureza Rockwell crescentes, sem tendência de estabilização, para ambos os fungos apodrecedores.

Em relação aos fungos apodrecedores, as madeiras submetidas ao ataque de *Gloeophyllum trabeum* apresentaram menor resistência mecânica quando comparada ao ataque proporcionado pelo *Trametes versicolor*. Diferentemente, Green *et al.* (2004) relataram que o método de dureza Brinell não foi eficiente para diferenciar a perda de resistência mecânica de amostras de *Pinus nigra* atacadas por diferentes fungos apodrecedores. Nesse sentido pode-se considerar que para o presente estudo o método de dureza Rockwell foi sensível aos diferentes mecanismos enzimáticos de deterioração. Tal resultado pode ser explicado pela melhor difusão das enzimas do fungo *Gloeophyllum trabeum*, em especial, nos estágios iniciais, de modo a provocar, em estágio avançado, o colapso da madeira, ao apresentar trincas paralelas e perpendiculares à grã (OLIVEIRA *et al.*, 1986; SANTINI, 1981), conforme pode se observar nos Apêndices 7 a 9. Essa configuração macroscópica das madeiras atacadas pela podridão parda resultou em menores valores de dureza Rockwell, quando comparada às madeiras atacadas pela podridão branca.

Para as madeiras de *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* foi observado que a diferença significativa na redução da dureza Rockwell, devido à exposição entre os fungos apodrecedores, ocorreu a partir da 16^a e 8^a semana, respectivamente. Segundo Wilcox (1978) nos primeiros estágios de desenvolvimento dos fungos xilófagos, em especial os Basidiomicetos, não se verificam diferenças significativas entre as perdas de resistência mecânica ao comparar, por exemplo, podridão branca e parda. No entanto, para *Simarouba amara* pode-se observar que a perda de resistência mecânica foi significativamente superior nas amostras submetidas ao fungo de podridão parda durante todo o período do ensaio de apodrecimento, com exceção, basicamente, no período final, entre a 16^a e 20^a semana, em que as médias foram iguais devido à perda total de resistência mecânica.

Com relação às espécies florestais, de modo semelhante à perda de massa, as amostras de *Dipteryx odorata* apresentaram maior resistência mecânica, durante o ensaio de apodrecimento, em relação *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha* (Tabela 6.11). De fato, como mencionado, anteriormente, a menor porosidade e a alta concentração de extrativos, em especial os de caráter fenólico (EATON; HALE, 1993; ZABEL; MORRELL, 1992; WALKER, 2006), podem ser a razão da maior resistência no ensaio de dureza Rockwell na

madeira de cumarú.

Tabela 6.11 Comparação das médias de dureza Rockwell entre as madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* para ambos fungos apodrecedores.

Período (semanas)	<i>Simarouba amara</i>	<i>Cariniana micrantha</i>	<i>Dipteryx odorata</i>
0	59,67 c	74,90 b	146,03 a*
1	47,43 c	72,22 b	145,56 a
2	39,19 c	68,43 b	143,79 a
3	36,61 c	63,68 b	141,48 a
4	32,14 c	56,90 b	141,67 a
6	29,79 c	44,87 b	141,70 a
8	23,76 c	39,37 b	129,32 a
10	21,09 c	36,44 b	124,80 a
12	14,18 c	32,60 b	123,02 a
14	6,78 c	29,64 b	115,67 a
16	0,00 c	27,88 b	117,83 a
18	0,00 c	25,68 b	113,88 a
20	0,00 c	13,04 b	103,56 a

Em que: *Médias não seguidas por uma mesma letra minúscula, na horizontal, diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer.

Ao considerar madeiras em estado sadio, Araújo (2002) cita que a madeira de cumarú apresenta maiores propriedades mecânicas quando comparado ao jequitibá e marupá. Em ensaios de dureza Janka (paralela e transversal às fibras), o autor supracitado mencionou valores médios de 14.415, 3.462 e 2.589 N, para as madeiras de cumarú, jequitibá e marupá, respectivamente, sendo que tais diferenças estão relacionadas as distintas classes de massa específica. De acordo com Kollmann (1959) a massa específica é um dos principais parâmetros para a definição da qualidade da madeira, visto que a mesma se correlaciona com as principais propriedades tecnológicas da madeira, em especial, as físicas e mecânicas.

Na Tabela 6.12 e Figuras 6.28 a 6.30 são apresentadas, respectivamente, as correlações lineares e os modelos preditivos da dureza Rockwell da madeira de cada espécie florestal em função do período de ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

Tabela 6.12 Correlação entre a dureza Rockwell e o período de exposição das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* aos fungos apodrecedores.

	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	HR - TV	HR - GT	HR - TV	HR - GT	HR - TV	HR - GT
Período (semanas)	- 0,98 (< 0,01**)	- 0,92 (< 0,01**)	- 0,93 (< 0,01**)	- 0,97 (< 0,01**)	- 0,97 (< 0,01**)	- 0,97 (< 0,01**)

Em que: HR - TV= dureza Rockwell da madeira atacada pelo fungo *Trametes versicolor*; HR - GT= dureza Rockwell da madeira atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%.

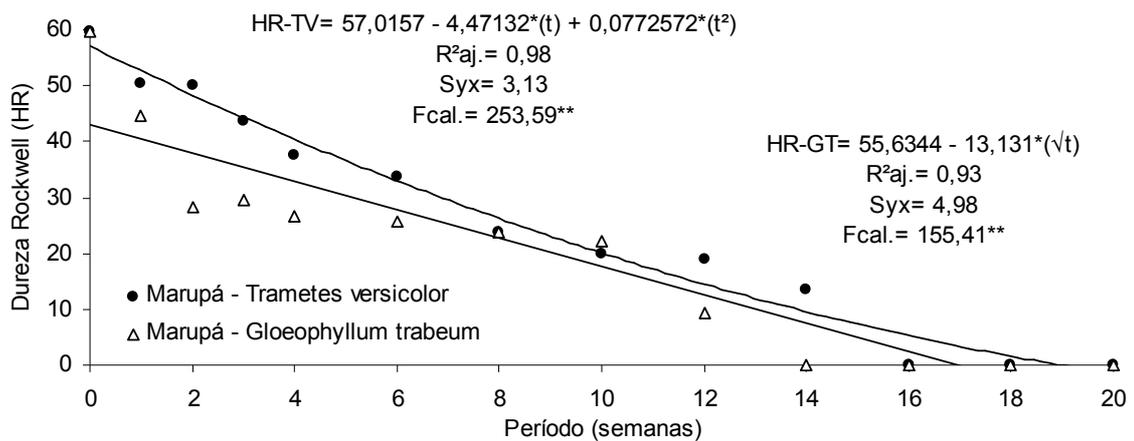


Figura 6.28 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

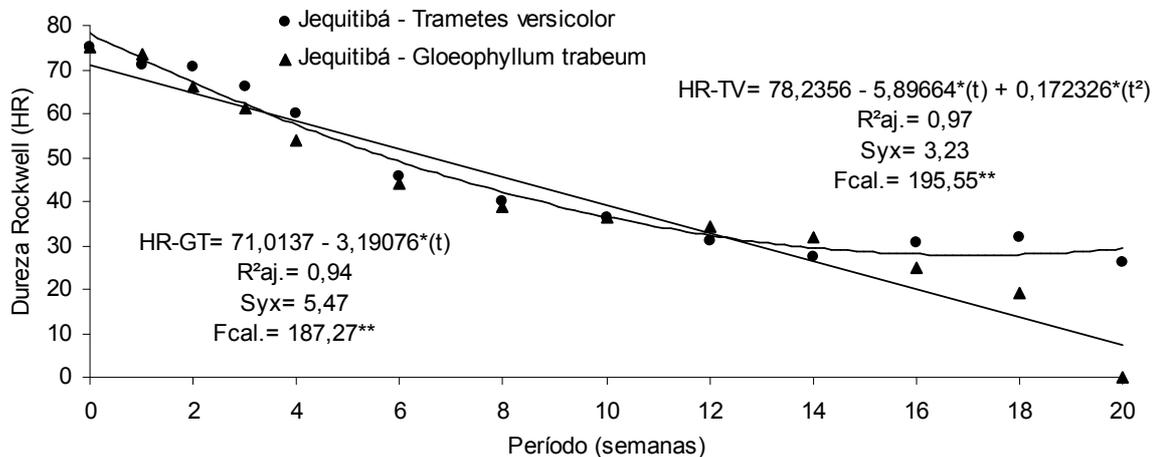


Figura 6.29 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

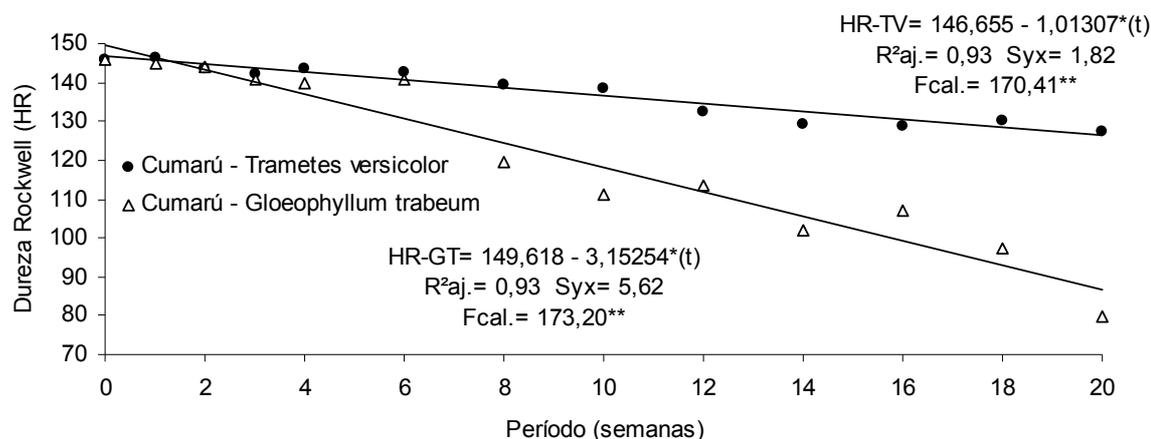


Figura 6.30 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Dipteryx odorata* em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

Ao avaliar os parâmetros estatísticos (R, $R^2_{aj.}$, Sy_x e valor de F calculado), verificou-se que tanto as correlações quanto os modelos estatísticos foram satisfatórios, sendo significativos a 1%, independente do fungo apodrecedor e espécie de madeira.

As correlações lineares e os ajustes de predição entre a dureza Rockwell das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* e a perda de massa causada pelo ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* são apresentados na Tabela 6.13 e Figuras 6.31 a 6.33, respectivamente.

Tabela 6.13 Correlação entre a dureza Rockwell e a perda de massa das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	HR - TV	HR - GT	HR - TV	HR - GT	HR - TV	HR - GT
PM - TV	- 0,98	---	- 0,98	---	- 0,67	---
(%)	(< 0,01**)		(< 0,01**)		(0,012*)	
PM - GT	---	- 0,95	---	- 0,97	---	- 0,94
(%)		(< 0,01**)		(< 0,01**)		(< 0,01**)

Em que: HR - TV= dureza Rockwell da madeira atacada pelo fungo *Trametes versicolor*; HR - GT= dureza Rockwell da madeira atacada pelo *Gloeophyllum trabeum*; PM - TV= perda de massa da madeira atacada pelo fungo *Trametes versicolor*; PM - GT= perda de massa da madeira atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%.

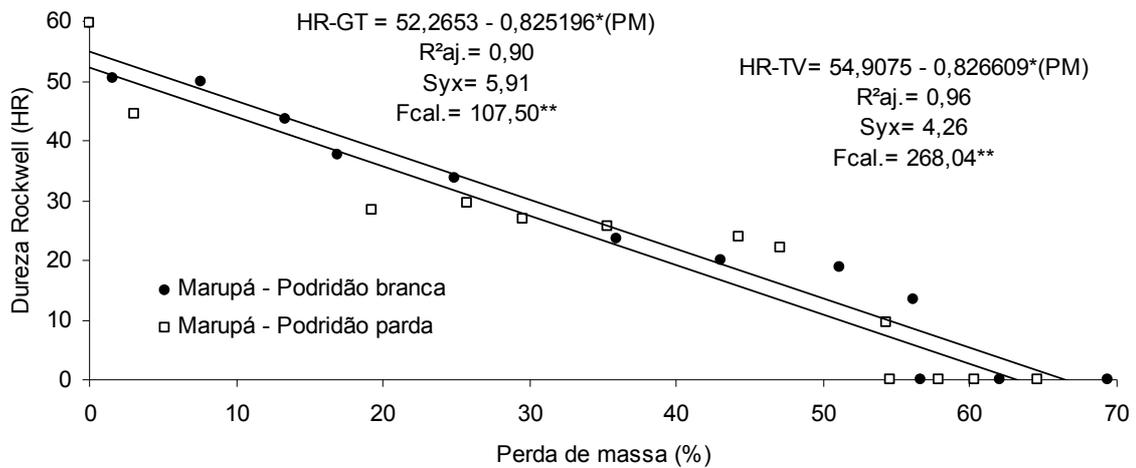


Figura 6.31 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Simarouba amara* em função da perda de massa causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

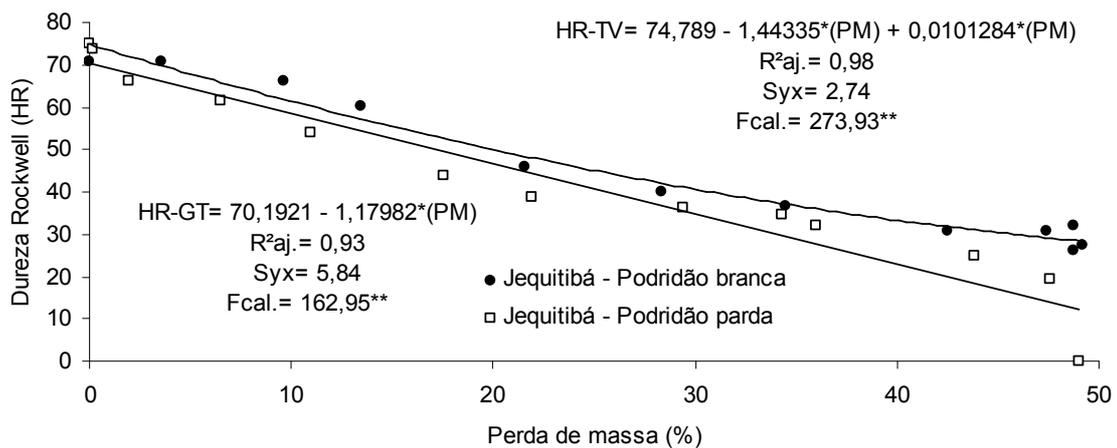


Figura 6.32 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* em função da perda de massa causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

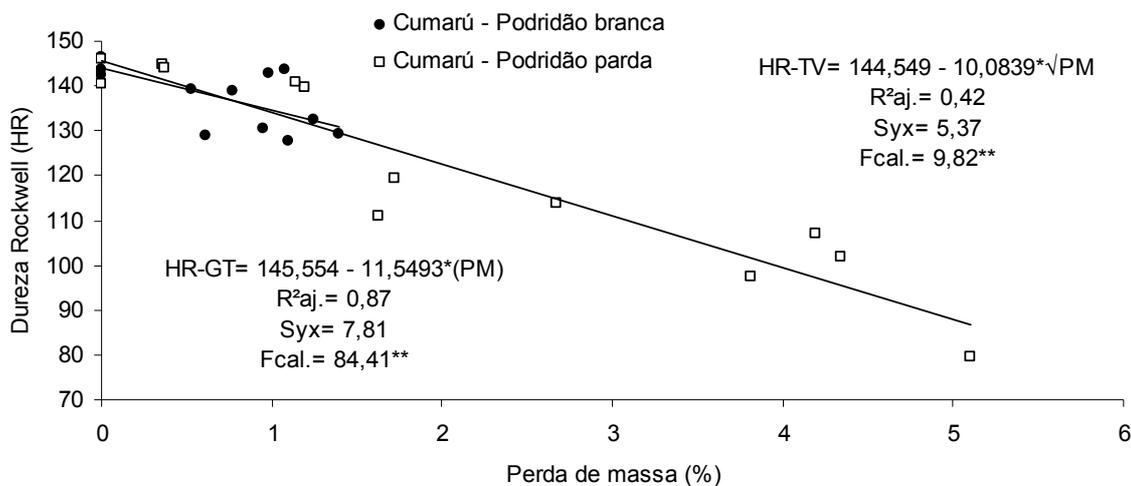


Figura 6.33 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Dipteryx odorata* em função da perda de massa causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

Segundo Zabel; Morrell (1992) e Winandy; Morrell (1993) a perda de resistência mecânica está intimamente relacionada com a perda de massa ocasionada por fungos apodrecedores. Nesse sentido, verificou-se que os resultados do presente estudo foram satisfatórios, visto que, com exceção da madeira de cumarú atacada pela podridão branca, todas as correlações e os ajustes preditivos foram significativos a 1%

Ao estabelecer um comparativo entre a perda de massa (Apêndice 1) e a dureza Rockwell (Apêndice 6), verificou-se que a última foi mais sensível como indicador de biodeterioração da madeira em relação a primeira. Schmidt *et al.* (1978), Wilcox, (1978), Winandy; Morrell (1993) e Curling *et al.* (2001) corroboram com esse resultado ao destacarem que as propriedades mecânicas podem ser empregadas na predição da resistência natural.

Para a madeira de *Simarouba amara* observou-se que a partir da 12ª semana a perda de massa, para ambos os fungos apodrecedores, foi superior a 50%, no entanto ao considerar a dureza Rockwell pode-se constatar que perdas de resistência mecânica de, aproximadamente, 50% ocorreram com apenas 6 e 2 semanas de exposição ao *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, respectivamente.

Eaton; Hale (1993) citam que consideráveis perdas de resistência mecânica podem ser

detectadas depois de apenas duas semanas de exposição da madeira a fungos apodrecedores, conforme constatado para a madeira de marupá atacada pela podridão parda. Henningsson (1967) em estudo com madeira de *Betula verrucosa* submetida ao ataque de *Polyporus marginatus*, obteve resultado semelhante ao observado no presente estudo. O referido autor demonstrou que a perda de resistência mecânica, em ensaio de flexão dinâmica (resistência ao impacto/choque), foi de 47% depois de duas semanas de instalação do experimento, enquanto que a perda de massa, no mesmo período foi de apenas 7%.

Com relação às amostras de *Cariniana micrantha*, verificou-se comportamento semelhante, em que as perdas de massa no período da 12ª semana foram superiores a 40 e 30%, podridão branca e parda, respectivamente, enquanto que as perdas de resistência mecânica, nas mesmas magnitudes, ocorreram a partir da 6ª e 4ª semana.

Ao considerar a perda de massa da madeira de cumarú, apesar da baixa intensidade do ataque dos fungos de podridão branca e parda, não atingindo valores acima de 2 e 6%, respectivamente, foi possível constatar que ao final do ensaio (20ª semana) as perdas de dureza Rockwell foram superiores a 12 e 45%, respectivamente.

Segundo Archer; Lebow (2006) é importante ressaltar que os fungos da classe dos Basidiomicetos (podridão branca e parda) apresentam como uma de suas principais características a capacidade das hifas ramificarem-se através da estrutura tridimensional da madeira, de modo a provocar a formação de cavidades nas paredes celulares. Tal mecanismo é acompanhado pela produção de enzimas extracelulares capazes de deteriorarem as paredes celulares, de maneira a proporcionarem a fonte de nutrição (carboidratos e lignina). Nesse sentido, a difusão inicial das hifas não é acompanhada pela assimilação dos constituintes químicos da madeira, de modo que perdas consideráveis nas propriedades de resistência mecânica ocorrem antes mesmo da madeira começar a perder massa significativamente, o que torna os ensaios de resistência mecânica ideais para avaliação do grau de ataque de determinado tipo de fungo (MACHEK *et al.* 2001).

Outro ponto a ser destacado é com relação ao tipo de ensaio, segundo Wilcox (1978) as

propriedades de dureza e flexão dinâmica são as mais recomendadas para as aferições da resistência natural, seguida da flexão estática. Em complemento, Hashemi *et al.* (2010) comprova a eficiência de ensaios de dureza, no caso Brinell, ao apresentar, aproximadamente, 79% de perda de resistência mecânica da madeira *Populus nigra*, submetida ao ataque de *Trametes versicolor* por 14 semanas, enquanto que no mesmo período a perda por compressão paralela foi de 59% e a perda de massa de apenas 29%.

De modo geral, a maior parte dos trabalhos envolvendo ensaios de dureza são relativos ao método Janka e, menos frequente, Brinell, sendo assim deve-se salientar o estabelecimento do ensaio de dureza Rockwell, em especial para a caracterização de amostras quando submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado, devido a sua sensibilidade em predizer a biodeterioração.

Curling *et al.* (2001) citam que a perda em módulo de elasticidade não é tão rápida quanto a perda em módulo de ruptura para madeira de *Pinus* submetida ao ataque de fungos de podridão parda. Os mesmos autores supracitados verificaram que iniciada a perda de massa, depois de ocorrida aproximadamente 40% da perda de resistência mecânica da madeira, a relação comparativa entre a perda nas propriedades mecânicas e de massa foi de 9:1 (carga máxima de trabalho), de 4:1 (módulo de ruptura) e de 1,5:1 (módulo de elasticidade). Ressaltando desse modo, a importância de ensaios mecânicos que obtêm como resposta final a carga máxima de trabalho, como a dureza Rockwell, no caso do presente estudo.

As matrizes de correlação e os modelos de predição entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e a dureza Rockwell das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* são demonstradas na Tabela 6.14 e Figuras 6.34 a 6.39.

Tabela 6.14 Correlação entre as alterações dos parâmetros colorimétricos e a dureza Rockwell das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

<i>Simarouba amara</i>						
	L*	a*	b*	C	h*	ΔE
HR - TV	0,11 (0,72) ^{NS}	- 0,94 (< 0,01**)	- 0,91 (< 0,01**)	- 0,92 (< 0,01**)	0,87 (< 0,01**)	- 0,90 (< 0,01**)
HR - GT	0,95 (< 0,01**)	- 0,94 (< 0,01**)	0,49 (0,09) ^{NS}	0,23 (0,44) ^{NS}	0,91 (< 0,01**)	- 0,95 (< 0,01**)
<i>Cariniana micrantha</i>						
	L*	a*	b*	C	h*	ΔE
HR - TV	- 0,88 (< 0,01**)	0,13 (0,66) ^{NS}	- 0,87 (< 0,01**)	- 0,86 (< 0,01**)	- 0,78 (< 0,01**)	- 0,93 (< 0,01**)
HR - GT	0,95 (< 0,01**)	0,61 (0,03*)	0,70 (< 0,01**)	0,70 (< 0,01**)	0,68 (0,01*)	- 0,94 (< 0,01**)
<i>Dipteryx odorata</i>						
	L*	a*	b*	C	h*	ΔE
HR - TV	- 0,12 (0,71) ^{NS}	0,26 (0,39) ^{NS}	- 0,86 (< 0,01**)	- 0,83 (< 0,01**)	- 0,71 (< 0,01**)	- 0,07 (0,83) ^{NS}
HR - GT	0,90 (< 0,01**)	0,50 (0,08) ^{NS}	0,92 (< 0,01**)	0,93 (< 0,01**)	0,83 (< 0,01**)	- 0,91 (< 0,01**)

Em que: L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b* coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; ΔE= variação total da cor; HR - TV= dureza Rockwell da madeira atacada pelo fungo *Trametes versicolor*; HR - GT= dureza Rockwell da madeira atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Nishino *et al.* (2000) ao estudar a cor da madeira de alburno de 26 folhosas estabeleceu correlações positivas, de modo significativo, entre os parâmetros a*, b* e C com a massa específica da madeira. Por sua vez, os parâmetros L* e h* apresentaram correlações significativamente negativas com a massa específica.

Uma vez que a massa específica é estreitamente correlacionada a resistência mecânica da madeira (KOLLMANN, 1959), e que as duas são significativamente reduzidas com o ataque proporcionado pelos fungos apodrecedores (EATON; HALE, 1993), pode-se então justificar o estabelecimento de correlações entre as alterações colorimétricas e a perda de resistência mecânica causadas por fungos apodrecedores.

Ao avaliar os parâmetros estatísticos, foi possível constatar que a perda de resistência mecânica das madeiras atacadas por *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* pode ser

melhor predita com base nas coordenadas colorimétricas b^* e L^* , respectivamente. Tal consideração baseia-se no fato de que as correlações significativas dos parâmetros supracitados foram comuns para as três espécies florestais. Dessa forma, pode-se afirmar que quanto maior o amarelecimento (+ b^*) e menor a claridade (- L^*) ocasionada pela podridão branca e parda, respectivamente, maior é a perda de resistência mecânica da madeira.

Adicionalmente, ressalta-se a correlação significativa entre a ΔE e a perda de resistência mecânica, exceto para a madeira de *Dipteryx odorata* atacada pelo fungo de podridão branca, de modo que com o aumento da ΔE verificou-se redução da dureza Rockwell.

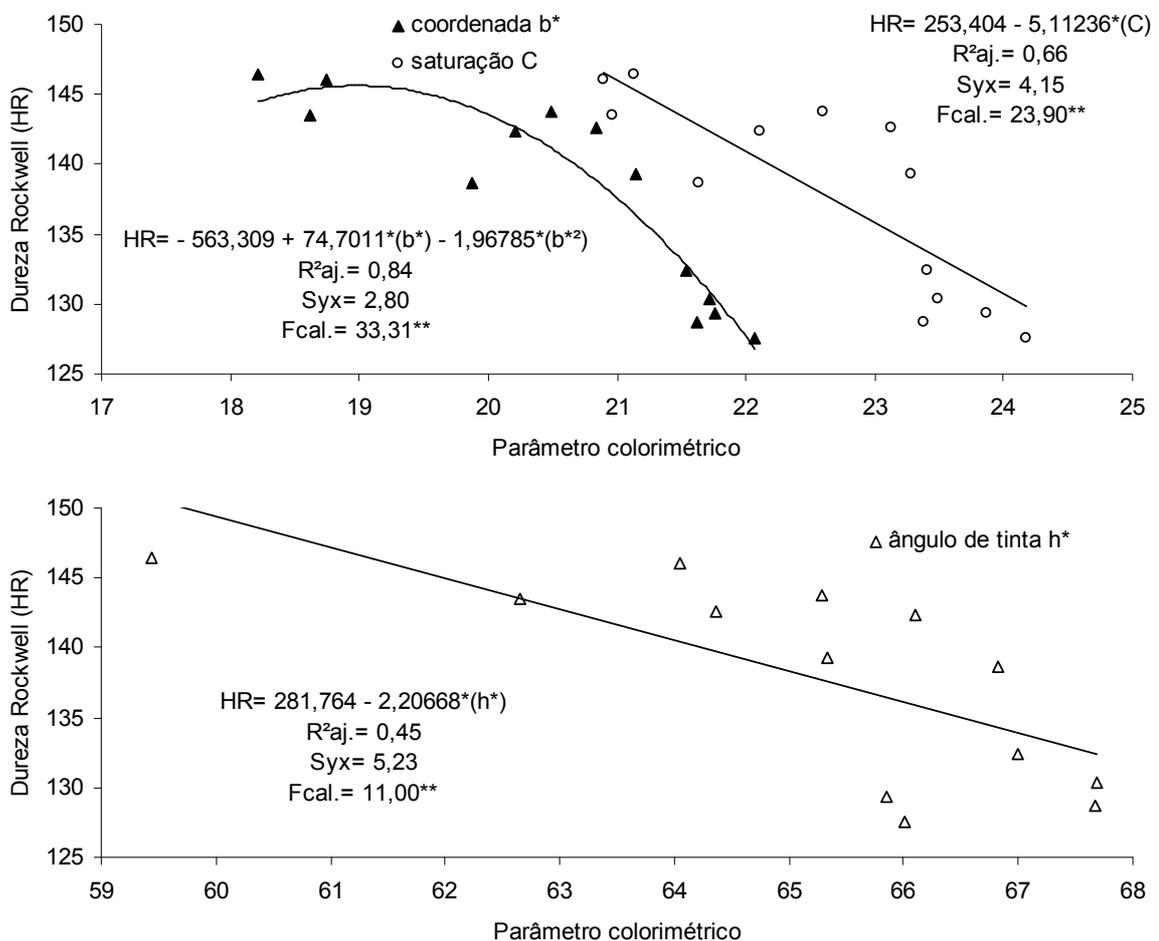


Figura 6.34 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Dipteryx odorata* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

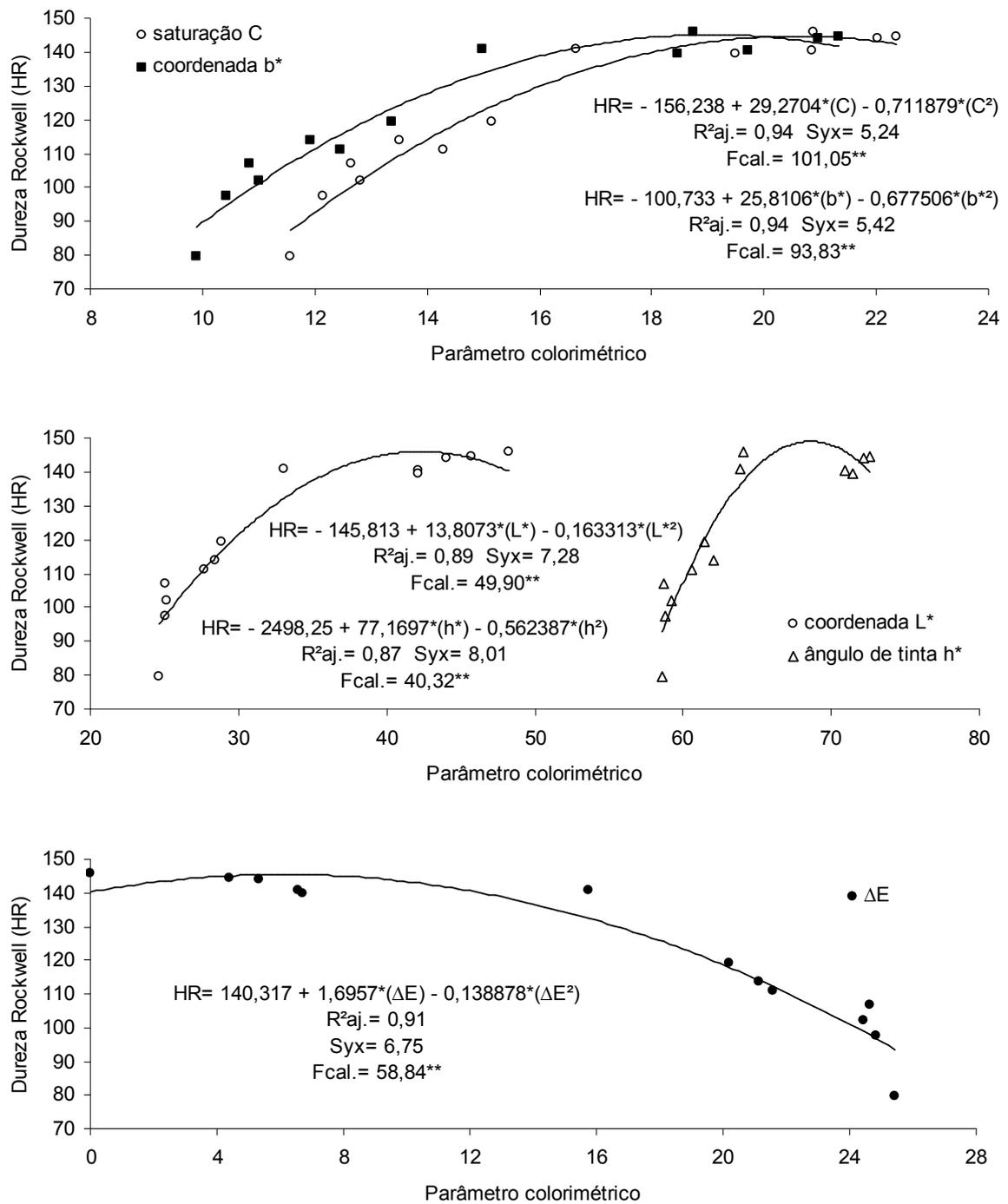


Figura 6.35 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Dipteryx odorata* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

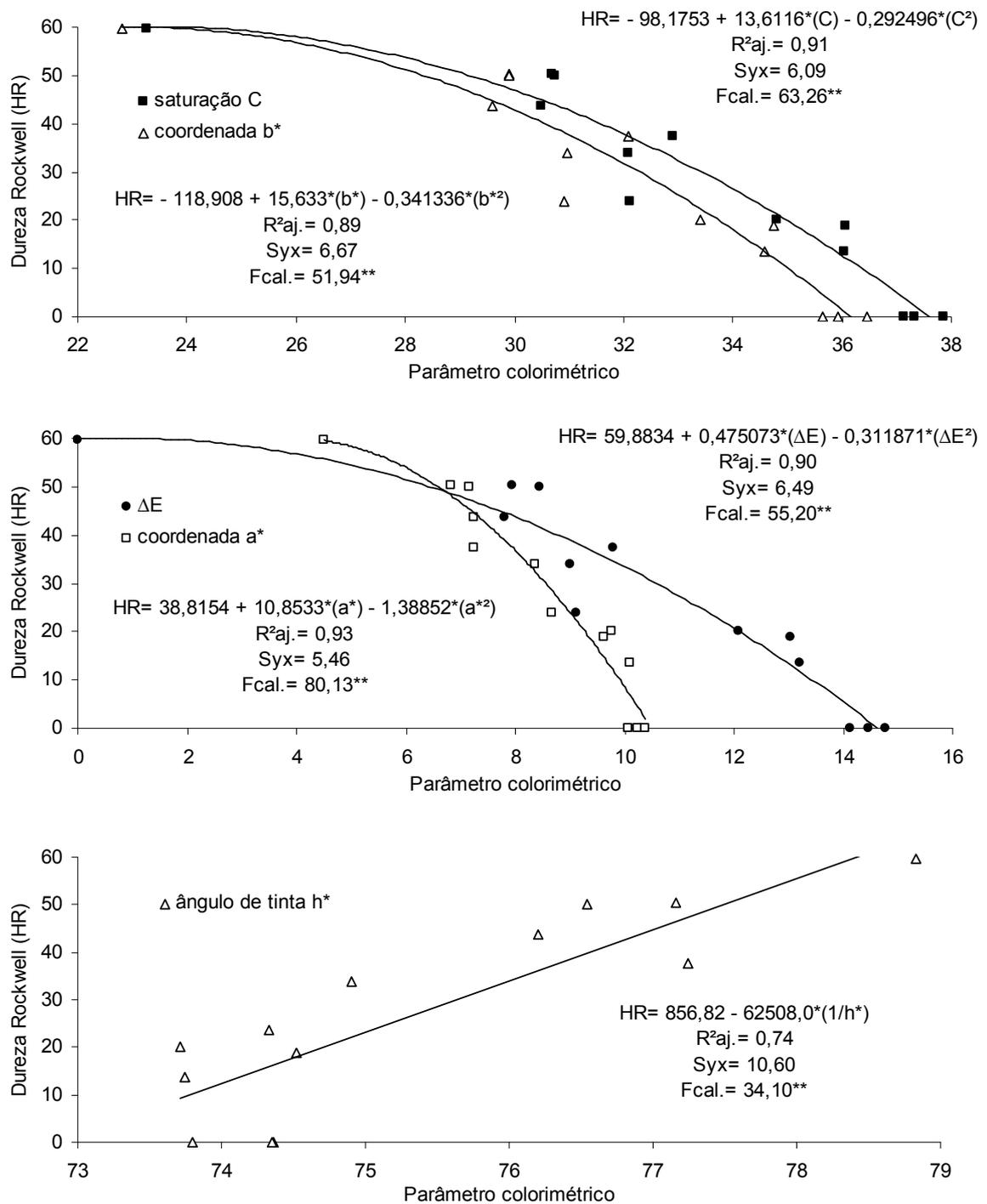


Figura 6.36 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Simarouba amara* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

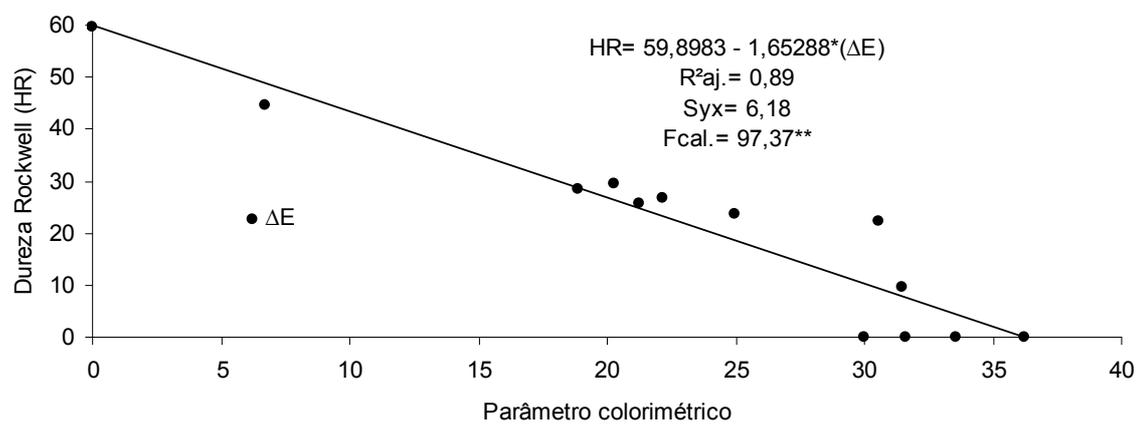
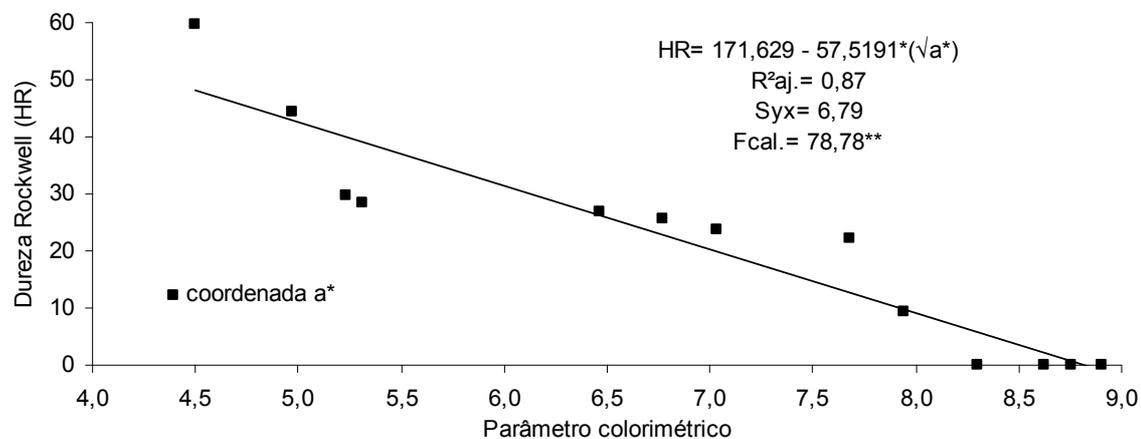
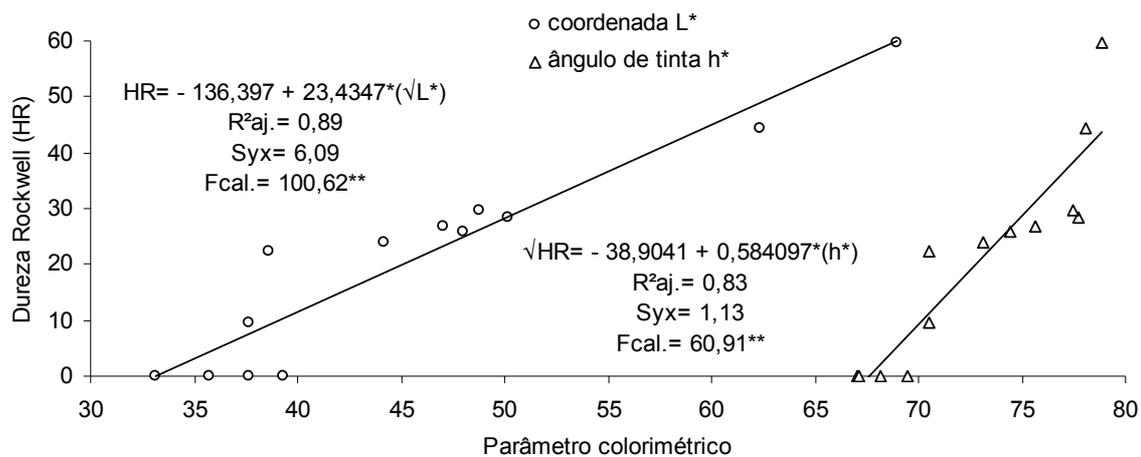


Figura 6.37 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Simarouba amara* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

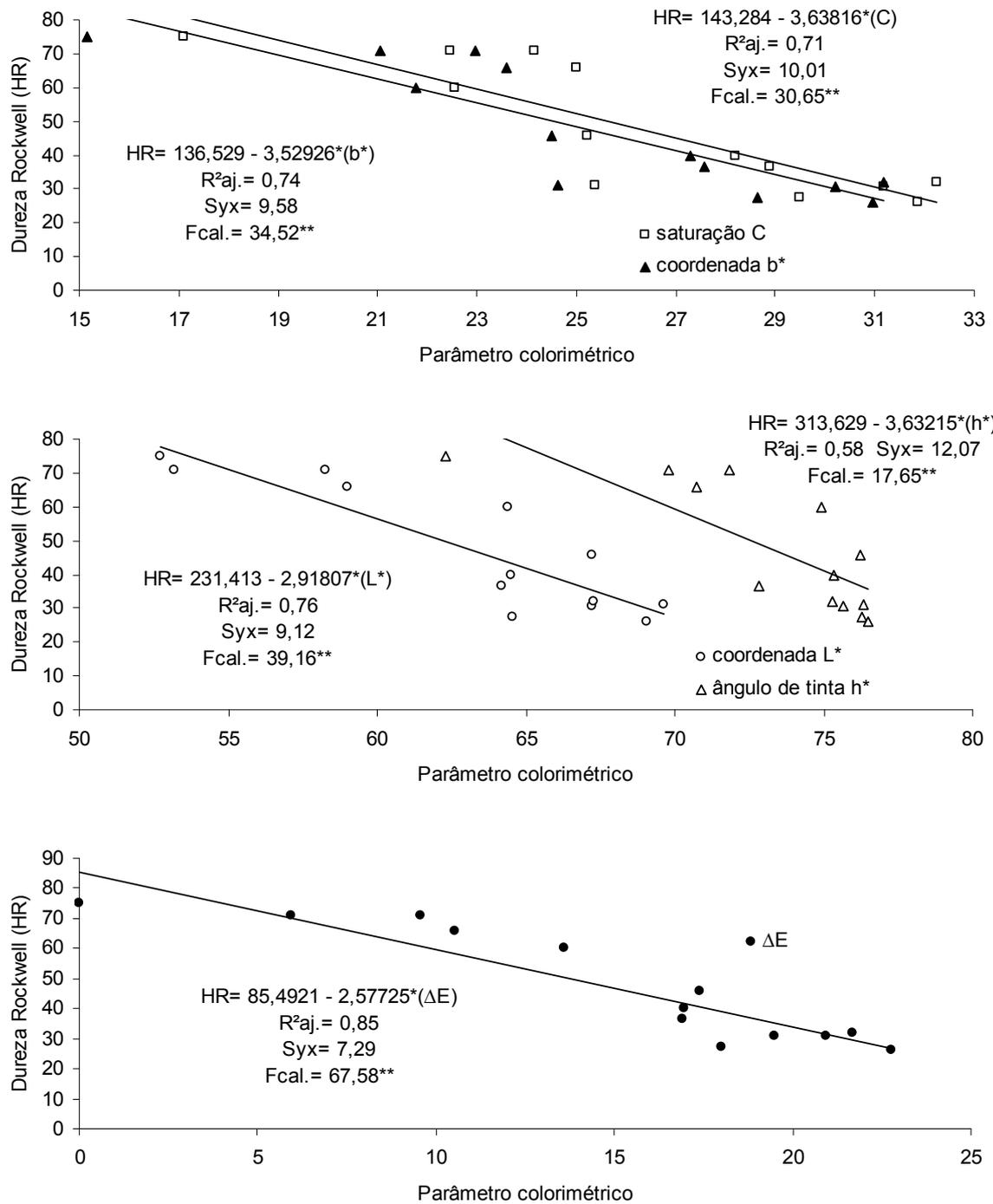


Figura 6.38 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

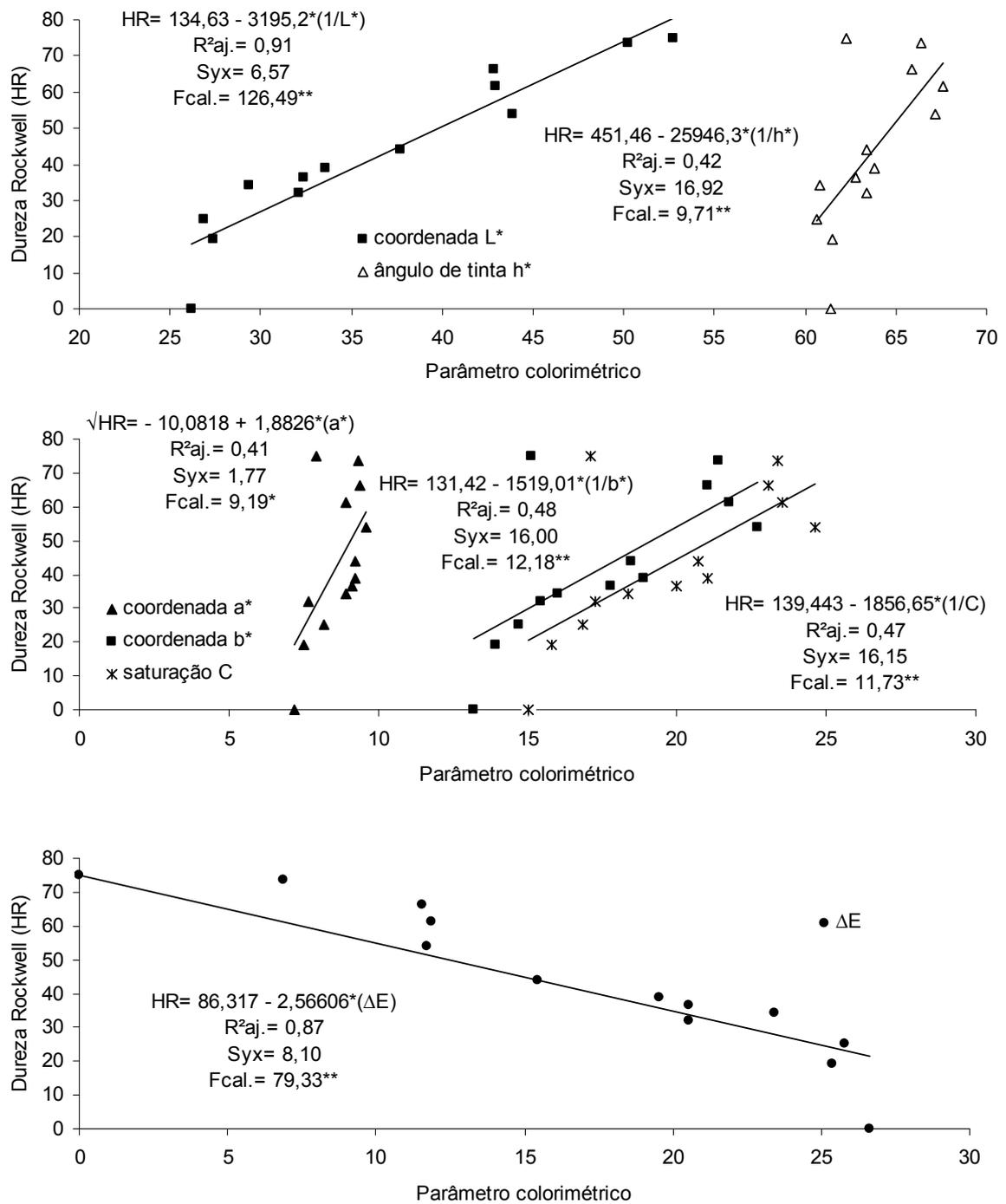


Figura 6.39 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração dos parâmetros colorimétricos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

6.4 ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS

Os espectros de refletância difusa das madeiras, antecedendo os ensaios de apodrecimento acelerado, de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* estão ilustrados na Figura 6.40.

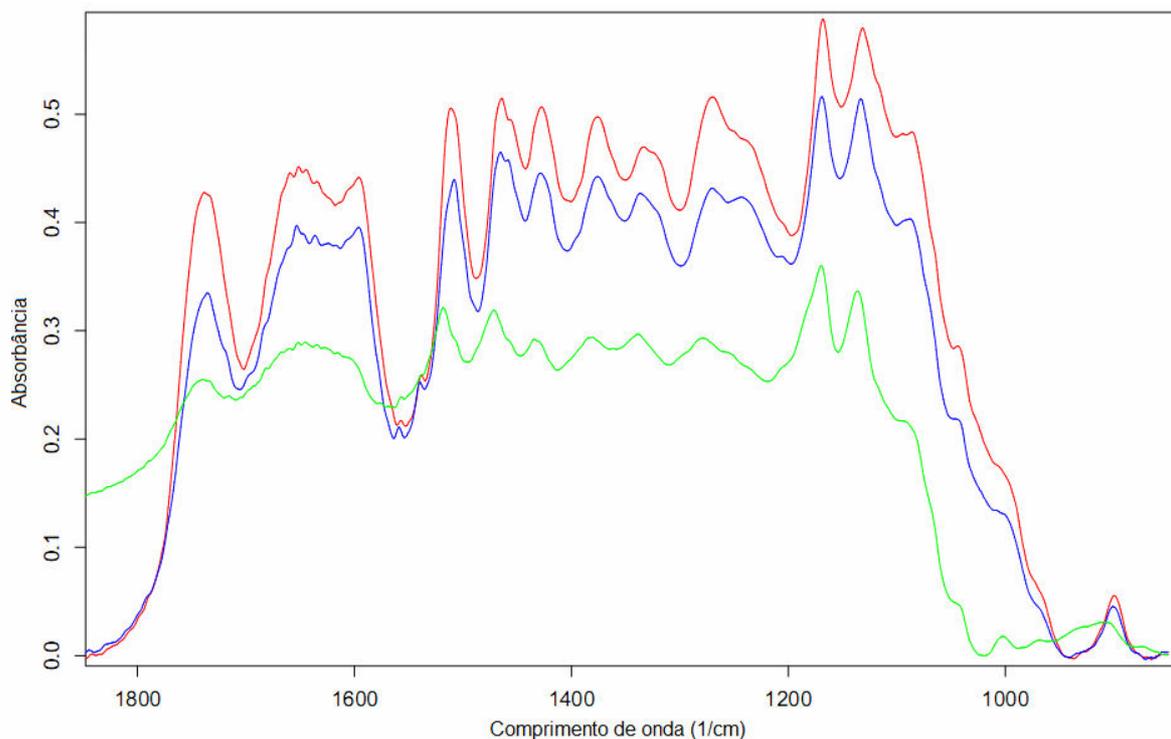


Figura 6.40 Espectros de DRIFT-MIR das madeiras sadias de *Simarouba amara* (vermelho), *Cariniana micrantha* (azul) e *Dipteryx odorata* (verde).

Em geral, os espectros de refletância apresentaram comportamento semelhante. Esse resultado era esperado devido a madeira ser um material polimérico natural. Entretanto, Pastore (2004) menciona que os espectros de refletância são de difícil interpretação, em razão da significativa variação da intensidade e da localização das bandas, de acordo com o meio e os grupamentos químicos presentes.

Ao analisar as bandas presentes nos espectros das madeiras das três espécies verificou-se um número reduzido de bandas, aproximadamente 16, em comparação a quantidade de grupos funcionais presentes na composição química da madeira. No *fingerprint* entre 1800-900 cm^{-1}

concentraram-se as principais bandas, com relação as atribuições químicas, em razão da presença de diferentes grupos funcionais. No entanto, autores como Pastore (2004) e Pandey (1999) citam que, apenas, as bandas em 1735 cm^{-1} e 1510 cm^{-1} , além dos estiramentos O-H e C-H podem ser considerados puros. As demais bandas, de maneira geral, são de difícil atribuição química, em razão de que as mesmas são formadas pela sobreposição das bandas de lignina, celulose, polioses e extrativos (TOLVAJ; FAIX, 1995; PASTORE, 2004). Nesse sentido, as atribuições químicas são dadas em termos gerais, sendo que por vezes são verificadas distinções nas literaturas.

Nas Figuras 6.41 a 6.43 são ilustradas as bandas selecionadas na região espectral em 1800 a 900 cm^{-1} das madeiras sadias de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* para posterior caracterização do efeito do ataque dos fungos apodrecedores.

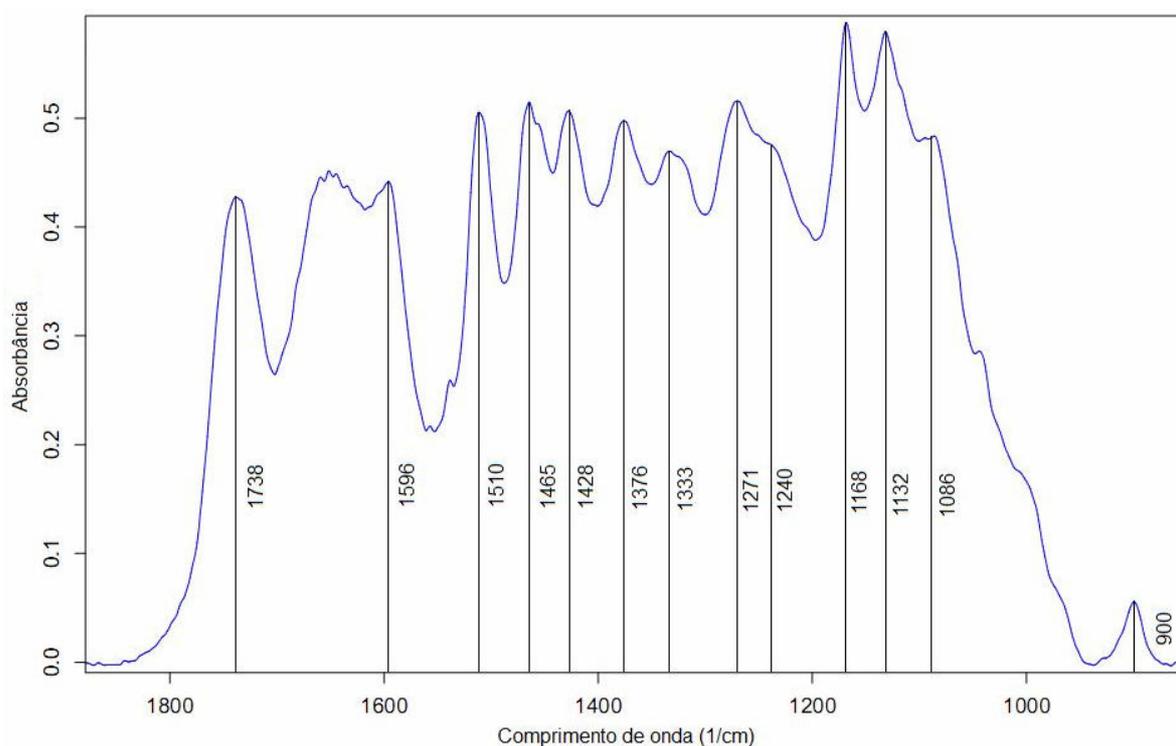


Figura 6.41 Bandas selecionadas na região espectral de 1800 a 900 cm^{-1} para a madeira sadia de *Simarouba amara*.

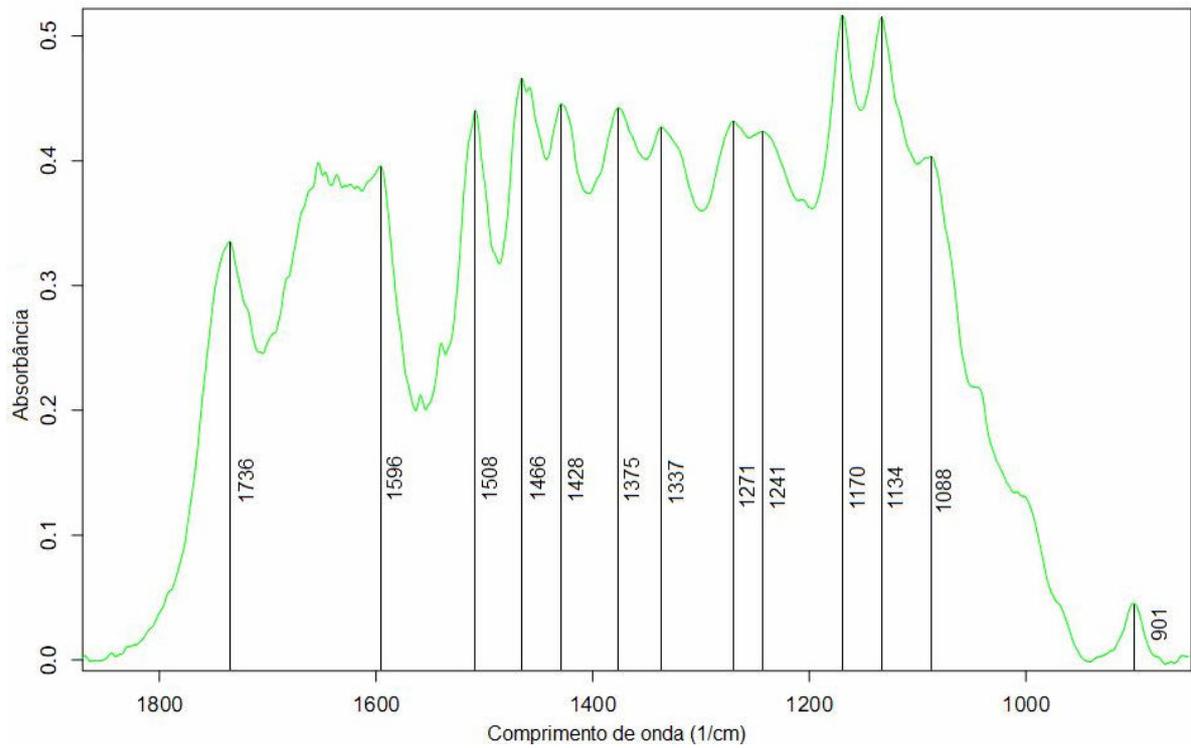


Figura 6.42 Bandas selecionadas na região espectral de 1800 a 900 cm^{-1} para a madeira sadia de *Cariniana micrantha*.

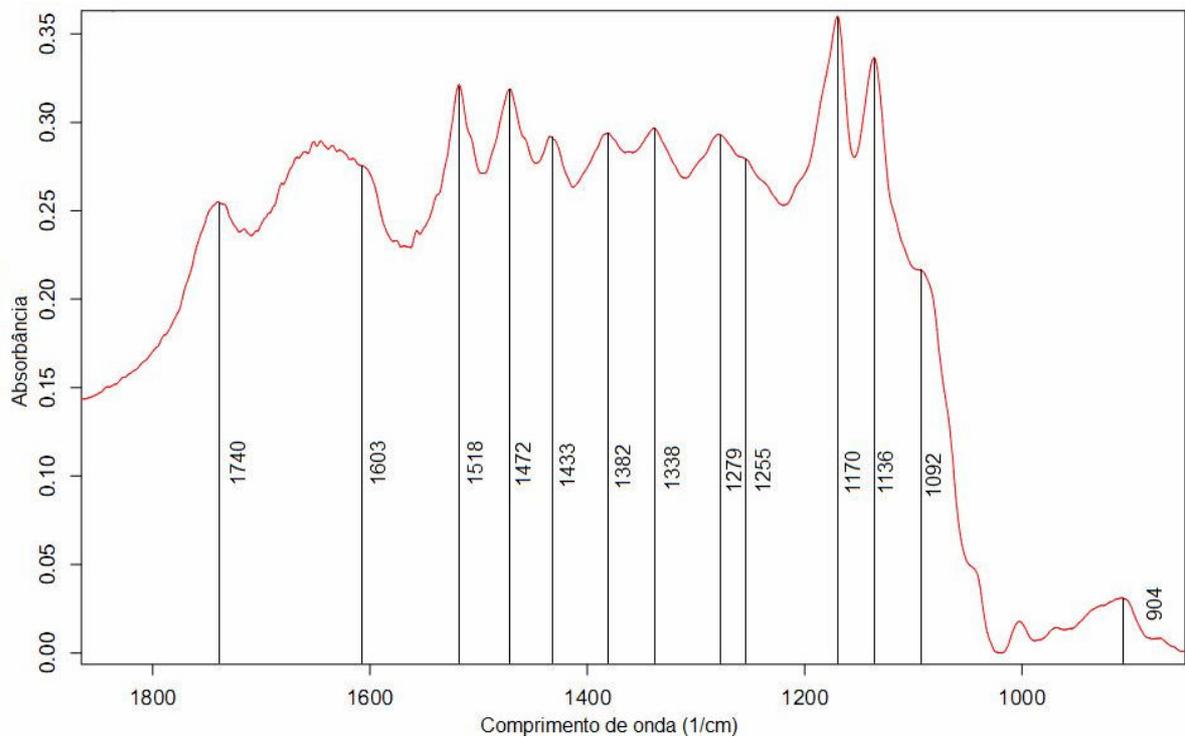


Figura 6.43 Bandas selecionadas na região espectral de 1800 a 900 cm^{-1} para a madeira sadia de *Dipteryx odorata*.

Ao analisar, qualitativamente, os espectros no infravermelho médio (Figuras 6.44 a 6.46) pode-se verificar que as madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* apresentaram distintas alterações nas bandas localizadas no *fingerprint* de 1800 a 900 cm^{-1} , em razão do ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

De modo geral, o ataque do fungo de podridão branca proporcionou, apenas, modificação nas intensidades das bandas, mantendo a mesma conformação do espectro da madeira não atacada. Fackler *et al.* (2007b) mencionaram que apesar do fungo *Trametes versicolor* ser classificado como de ataque simultâneo, ao deteriorar de modo indistinto os constituintes, as alterações na região do *fingerprint* do espectro de MIR foram mínimas, corroborando com o presente estudo. Entretanto, para a madeira submetida a ação da podridão parda foi possível constatar uma maior descaracterização e alteração da intensidade das bandas em relação a madeira sadia, em especial entre 1200 a 900 cm^{-1} , de modo a corroborar com resultados descritos por Fackler *et al.* (2007b).

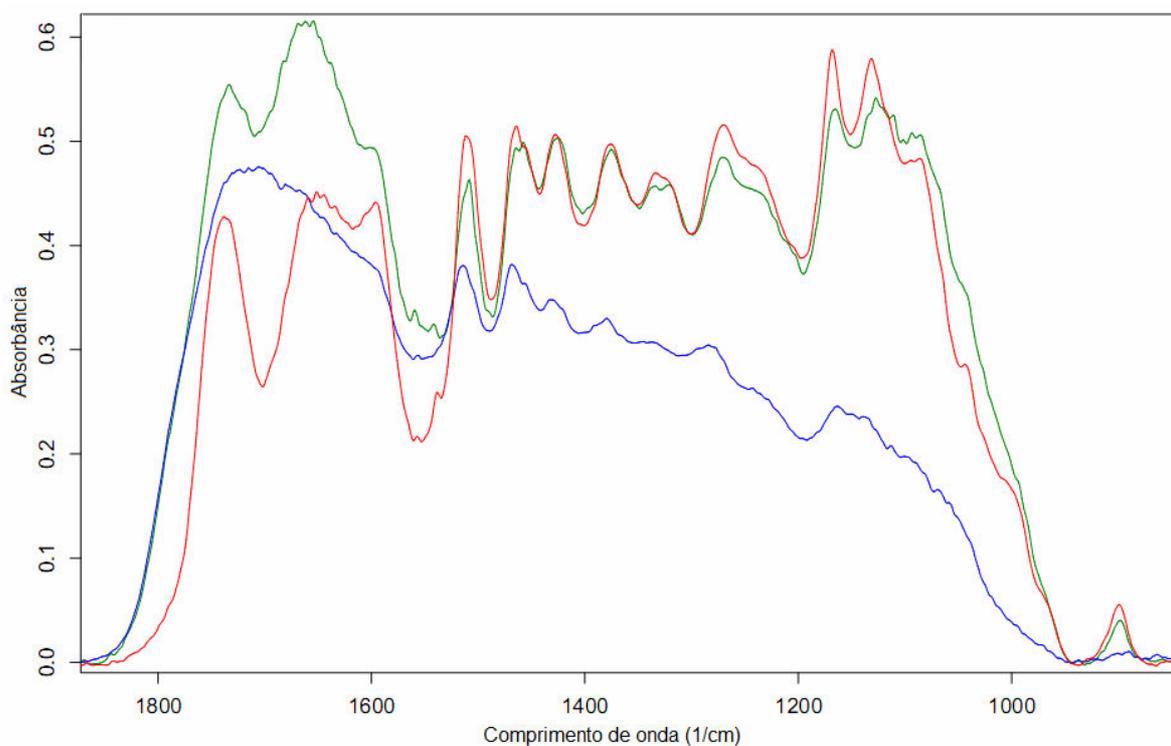


Figura 6.44 Espectros de DRIFT-MIR da madeira de *Simarouba amara* antes (vermelho) e após a exposição aos fungos causadores de podridão branca (verde) e parda (azul).

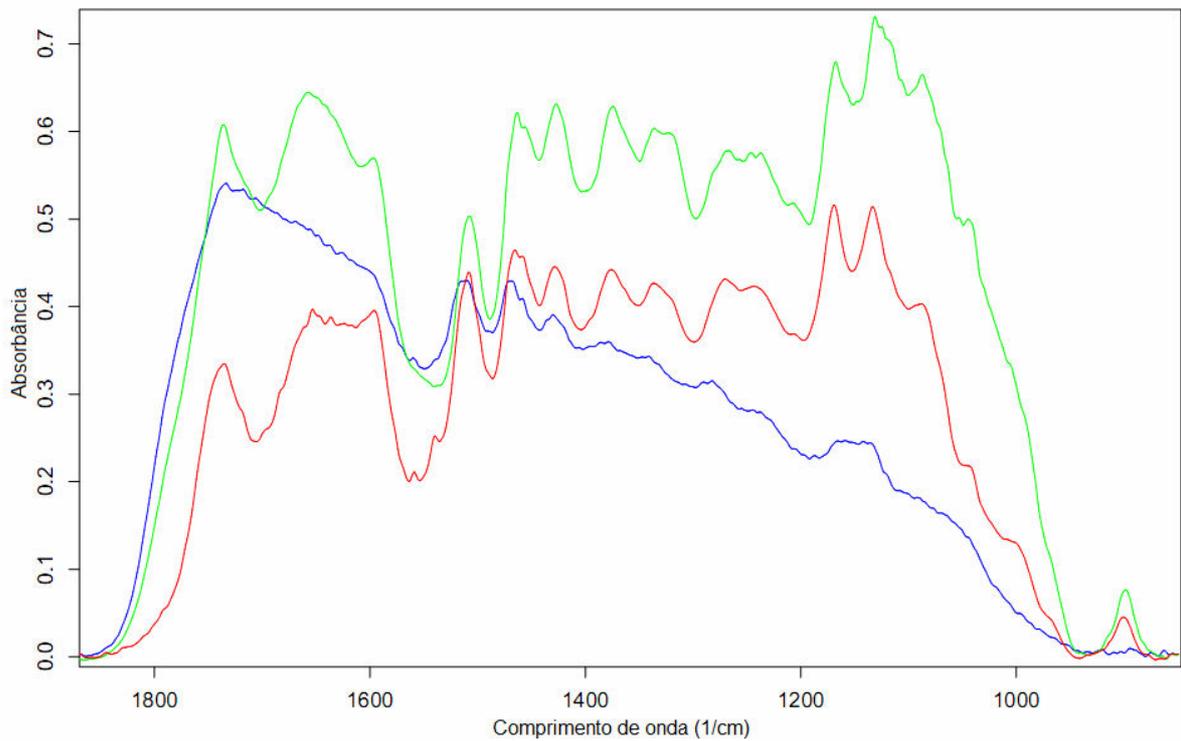


Figura 6.45 Espectros de DRIFT-MIR das madeiras de *Cariniana micrantha* antes (vermelho) e após a exposição aos fungos causadores de podridão branca (verde) e parda (azul).

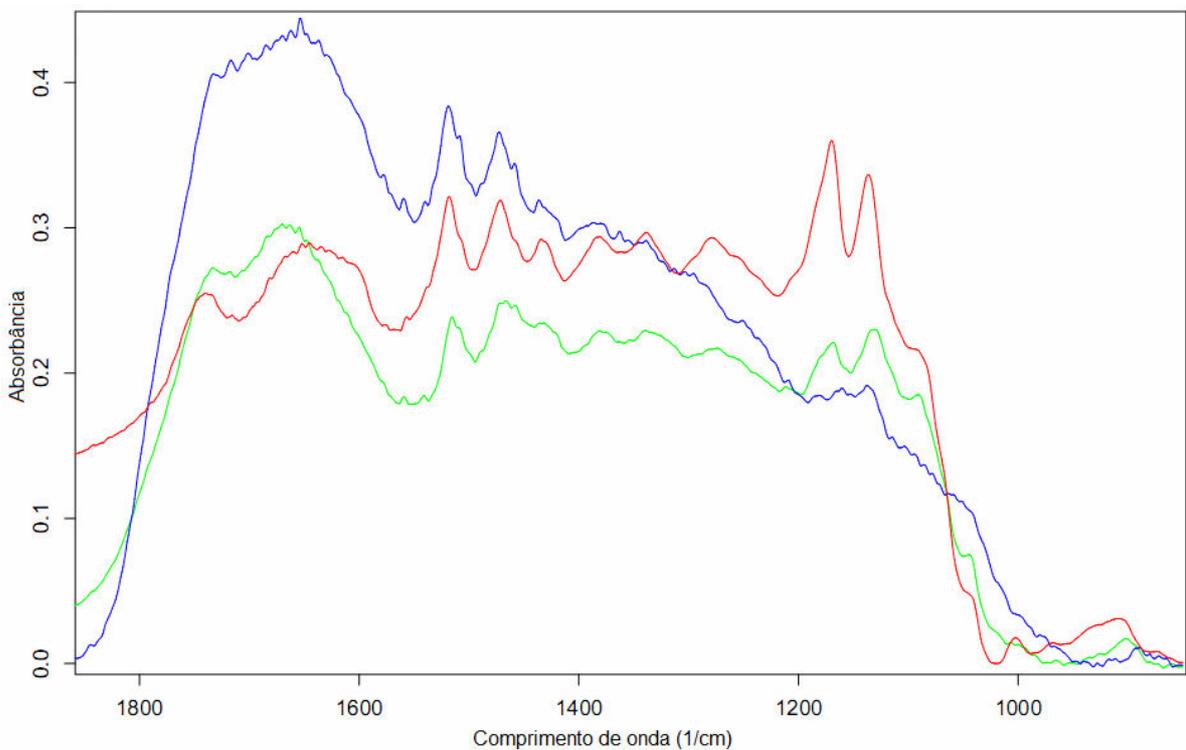


Figura 6.46 Espectros de DRIFT-MIR das madeiras de *Dipteryx odorata* antes (vermelho) e após a exposição aos fungos causadores de podridão branca (verde) e parda (azul).

Resultados semelhantes foram observados por Costa (2009) ao empregar a mesma técnica de espectroscopia para analisar o efeito dos mesmos fungos apodrecedores.

Segundo Ferraz *et al.* (2000) e Mohebbi (2005) as diferenças entre os espectros das madeiras atacadas pelos fungos apodrecedores se deve ao fato que os mesmos apresentam distintos mecanismos enzimáticos para assimilação dos produtos químicos deteriorados. Nesse sentido, ressalta-se a validade da técnica de espectroscopia, como ferramenta de caráter qualitativo, na caracterização e no monitoramento de variações dos componentes químicos da superfície de madeiras que estão sendo deterioradas por microrganismos fúngicos.

Os valores médios da intensidade das bandas de celulose (1430, 1330 e 900 cm^{-1}), polioses (1735 e 1375 cm^{-1}), holocelulose (1170, 1135 e 1090 cm^{-1}) e lignina (1600, 1510, 1460, 1270 e 1240 cm^{-1}), relativas as madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas aos fungos apodrecedores são apresentados nas Tabelas 6.15 a 6.17.

Faz-se necessário ressaltar que os valores de intensidade para cada banda, relatados nas Tabelas 6.15 a 6.17, foram normalizados em relação a madeira não atacada. Sendo assim, a intensidade de cada banda foi igualada ao valor 1 para a madeira não atacada, de modo a permitir a comparação entre as intensidades de cada banda com a evolução do tempo de ataque dos fungos apodrecedores. Tal procedimento foi estabelecido em virtude de que não há uma banda que se mantenha inalterada, de maneira a ser empregada como referência para as demais. Na superfície das madeiras atacadas pelos fungos apodrecedores ocorre modificação simultânea em todas bandas o que dificulta a quantificação da concentração dos componentes químicos.

Tabela 6.15 Alteração dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.

<i>Trametes versicolor</i>													
Período (semanas)	1735 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	900 (cm ⁻¹)
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,36	1,22	1,02	1,06	1,09	1,09	1,09	1,05	1,08	1,00	1,03	1,12	0,94
2	1,39	1,22	0,98	1,05	1,08	1,07	1,07	1,04	1,07	0,98	1,03	1,15	0,87
3	1,44	1,21	1,00	1,06	1,09	1,07	1,07	1,06	1,08	0,99	1,06	1,19	0,82
4	1,34	1,13	0,98	1,02	1,05	1,05	1,05	1,04	1,07	0,99	1,07	1,20	0,81
6	1,35	1,16	0,99	1,03	1,07	1,07	1,06	1,04	1,09	1,00	1,07	1,21	0,85
8	1,30	1,09	0,98	1,01	1,04	1,06	1,07	1,01	1,04	1,00	1,06	1,23	0,89
10	1,27	1,12	0,96	1,01	1,06	1,07	1,08	1,02	1,05	1,01	1,08	1,23	0,85
12	1,30	1,14	0,95	1,01	1,06	1,07	1,09	1,03	1,05	1,02	1,07	1,20	0,88
14	1,34	1,14	0,94	0,99	1,02	1,01	1,02	0,97	1,00	0,94	0,98	1,11	0,81
16	1,24	1,09	0,89	0,96	1,00	1,01	1,02	0,96	1,01	0,96	1,00	1,12	0,82
18	1,34	1,17	0,92	0,98	1,03	1,03	1,04	0,96	0,98	0,94	0,98	1,13	0,85
20	1,31	1,14	0,93	0,99	1,02	1,01	0,99	0,96	0,97	0,91	0,95	1,05	0,75
<i>Gloeophyllum trabeum</i>													
Período (semanas)	1735 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	900 (cm ⁻¹)
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,22	1,11	1,04	1,05	1,06	1,06	1,06	1,03	1,04	0,97	0,99	1,08	0,65
2	1,31	1,12	0,98	0,96	0,94	0,90	0,91	0,84	0,83	0,71	0,67	0,67	0,26
3	1,28	1,14	1,03	1,01	0,98	0,95	0,96	0,90	0,89	0,78	0,77	0,80	0,37
4	1,18	1,07	0,96	0,95	0,91	0,88	0,89	0,83	0,82	0,71	0,69	0,72	0,35
6	1,18	1,06	0,97	0,94	0,91	0,87	0,88	0,81	0,80	0,68	0,67	0,67	0,35
8	1,32	1,13	0,99	0,97	0,92	0,89	0,89	0,81	0,81	0,65	0,62	0,64	0,32
10	1,24	1,05	0,93	0,90	0,86	0,82	0,81	0,74	0,70	0,58	0,55	0,56	0,33
12	1,22	1,00	0,87	0,86	0,81	0,77	0,76	0,68	0,65	0,54	0,51	0,52	0,22
14	1,26	1,03	0,83	0,85	0,80	0,77	0,75	0,65	0,63	0,48	0,49	0,48	0,12
16	1,24	1,06	0,94	0,90	0,84	0,80	0,81	0,74	0,70	0,55	0,53	0,55	0,19
18	1,17	0,95	0,81	0,81	0,76	0,73	0,72	0,65	0,61	0,48	0,45	0,48	0,18
20	1,10	0,86	0,75	0,74	0,69	0,66	0,65	0,59	0,54	0,42	0,41	0,41	0,16

Tabela 6.16 Alteração dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.

<i>Trametes versicolor</i>													
Período (semanas)	1735 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	900 (cm ⁻¹)
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,40	1,22	1,09	1,12	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,04	1,04	1,09	1,00
2	1,58	1,25	1,04	1,13	1,17	1,15	1,13	1,11	1,12	1,05	1,06	1,13	1,02
3	1,73	1,34	1,08	1,19	1,25	1,22	1,21	1,18	1,18	1,10	1,15	1,28	1,11
4	1,61	1,27	1,11	1,19	1,24	1,24	1,23	1,21	1,20	1,15	1,23	1,36	1,35
6	1,62	1,28	1,12	1,20	1,25	1,25	1,24	1,21	1,21	1,15	1,23	1,37	1,41
8	1,74	1,42	1,24	1,34	1,38	1,38	1,39	1,33	1,35	1,25	1,36	1,52	1,51
10	1,63	1,33	1,13	1,23	1,28	1,26	1,27	1,22	1,22	1,18	1,23	1,41	1,24
12	1,81	1,43	1,20	1,35	1,39	1,39	1,39	1,34	1,35	1,28	1,37	1,59	1,51
14	1,91	1,46	1,16	1,31	1,37	1,34	1,35	1,29	1,30	1,23	1,31	1,55	1,31
16	1,78	1,44	1,23	1,36	1,42	1,41	1,41	1,36	1,37	1,29	1,39	1,66	1,65
18	1,79	1,45	1,22	1,36	1,43	1,41	1,41	1,36	1,38	1,29	1,39	1,65	1,70
20	1,81	1,44	1,14	1,33	1,41	1,41	1,41	1,34	1,36	1,31	1,41	1,64	1,68

<i>Gloeophyllum trabeum</i>													
Período (semanas)	1735 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	900 (cm ⁻¹)
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,41	1,26	1,07	1,13	1,15	1,13	1,12	1,07	1,08	0,99	0,97	1,03	0,92
2	1,53	1,25	1,10	1,09	1,09	1,06	1,06	0,98	0,98	0,88	0,86	0,91	0,72
3	1,47	1,14	0,98	1,01	0,99	0,98	0,95	0,87	0,87	0,77	0,75	0,84	0,45
4	1,68	1,38	1,23	1,17	1,12	1,07	1,09	1,02	0,98	0,77	0,77	0,80	0,33
6	1,65	1,30	1,17	1,10	1,05	0,99	1,00	0,95	0,89	0,69	0,70	0,73	0,17
8	1,55	1,16	1,03	0,95	0,90	0,84	0,85	0,77	0,71	0,53	0,52	0,49	0,17
10	1,66	1,24	1,10	1,03	0,98	0,92	0,92	0,84	0,79	0,60	0,59	0,58	0,16
12	1,58	1,19	1,04	0,98	0,93	0,87	0,86	0,80	0,74	0,57	0,56	0,55	0,20
14	1,61	1,15	0,97	0,94	0,91	0,86	0,84	0,77	0,73	0,56	0,55	0,58	0,16
16	1,59	1,11	0,98	0,93	0,88	0,83	0,83	0,75	0,70	0,51	0,51	0,52	0,20
18	1,59	1,15	1,00	0,95	0,90	0,84	0,82	0,77	0,71	0,53	0,51	0,50	0,15
20	1,61	1,12	0,98	0,92	0,88	0,82	0,80	0,73	0,66	0,48	0,47	0,45	0,16

Tabela 6.17 Alteração dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores.

<i>Trametes versicolor</i>													
Período (semanas)	1735 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	900 (cm ⁻¹)
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,01	0,89	0,89	0,86	0,86	0,86	0,86	0,82	0,84	0,73	0,78	0,86	0,59
2	1,05	0,81	0,81	0,81	0,81	0,80	0,79	0,76	0,76	0,63	0,69	0,82	0,53
3	1,09	0,84	0,82	0,84	0,84	0,83	0,82	0,79	0,80	0,68	0,74	0,87	0,53
4	1,05	0,85	0,79	0,80	0,81	0,80	0,79	0,75	0,77	0,62	0,70	0,86	0,52
6	1,00	0,94	0,81	0,82	0,83	0,83	0,83	0,80	0,81	0,64	0,73	0,88	0,54
8	1,05	0,85	0,77	0,78	0,79	0,77	0,76	0,73	0,74	0,57	0,64	0,79	0,49
10	1,09	0,87	0,80	0,83	0,85	0,85	0,83	0,79	0,80	0,65	0,73	0,85	0,53
12	1,10	0,97	0,88	0,87	0,89	0,88	0,88	0,82	0,84	0,62	0,70	0,87	0,53
14	1,09	0,89	0,81	0,81	0,84	0,81	0,81	0,77	0,78	0,56	0,65	0,84	0,50
16	1,07	0,87	0,81	0,81	0,83	0,81	0,80	0,77	0,78	0,56	0,64	0,83	0,49
18	1,14	1,02	0,88	0,88	0,90	0,87	0,87	0,85	0,87	0,63	0,72	0,98	0,44
20	1,09	0,85	0,76	0,80	0,82	0,79	0,78	0,75	0,76	0,61	0,69	0,86	0,49
<i>Gloeophyllum trabeum</i>													
Período (semanas)	1735 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	900 (cm ⁻¹)
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,23	0,82	0,83	0,88	0,89	0,88	0,84	0,81	0,83	0,73	0,73	0,83	0,61
2	1,15	0,89	0,84	0,89	0,88	0,86	0,83	0,81	0,80	0,74	0,75	0,82	0,56
3	1,15	0,90	0,82	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,72	0,59	0,62	0,73	0,44
4	1,14	0,90	0,86	0,86	0,83	0,81	0,79	0,74	0,72	0,57	0,61	0,72	0,42
6	1,22	0,95	0,95	0,89	0,83	0,81	0,78	0,72	0,67	0,51	0,53	0,51	0,41
8	1,29	1,00	0,97	0,91	0,84	0,80	0,77	0,70	0,64	0,42	0,46	0,44	0,32
10	1,27	1,04	0,96	0,91	0,83	0,81	0,77	0,71	0,64	0,42	0,45	0,42	0,34
12	1,32	1,06	0,97	0,91	0,83	0,80	0,75	0,69	0,61	0,38	0,42	0,40	0,31
14	1,54	1,26	1,12	1,06	0,99	0,95	0,89	0,81	0,73	0,46	0,51	0,51	0,40
16	1,58	1,39	1,17	1,14	1,08	1,05	0,99	0,93	0,86	0,54	0,59	0,69	0,30
18	1,44	1,14	1,04	0,98	0,92	0,88	0,83	0,75	0,68	0,43	0,46	0,47	0,36
20	1,59	1,41	1,19	1,15	1,09	1,04	0,98	0,92	0,84	0,52	0,56	0,63	0,27

Para as madeiras de marupá e jequitibá constatou-se que a intensidade das bandas relacionadas aos carboidratos decresceu com o período de exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, exceto a banda de 1735 cm⁻¹. De fato esse resultado era esperado em razão de que os fungos causadores de podridão parda atacam, preferencialmente, os carboidratos (PANDEY; PITMAN, 2003). Com relação ao acréscimo da banda em 1735 cm⁻¹, a principal explicação está relacionada com a deterioração e/ou transformação dos carboidratos e/ou lignina em compostos carbonílicos.

Ao avaliar a madeira de cumarú observou-se resultado semelhante ao descrito para as demais espécies, exceto pelo fato de que as bandas em 1430 e 1375 cm⁻¹ apresentaram tendência de acréscimo das intensidades com a ação da podridão parda, especialmente nas últimas semanas de exposição.

É importante enfatizar que para a madeira de cumarú, diferentemente das demais, o principal fator que contribuiu para o aumento da banda de 1735 cm⁻¹ pode estar relacionado ao fato da mesma apresentar uma quantidade elevada de extrativos (9,2%), visto que os grupos carbonílicos não conjugados são característicos de diversas classes de extrativos, por exemplo, flavonóides.

De acordo com Curling *et al.* (2001) o fungo de podridão parda é responsável pela deterioração de polissacarídeos, principalmente na subcamada S2 da parede celular, na qual verifica-se uma menor concentração de lignina que as subcamadas S1 e S3, o que torna os polissacarídeos mais acessíveis à deterioração. Nesse sentido, explicam-se os decréscimos nas intensidades das bandas relacionadas aos polissacarídeos, principalmente, no *fingerprint* entre 1200 a 900 cm⁻¹.

Já para as bandas relativas a lignina, a intensidade das mesmas apresentou tendência de decréscimo com o ataque do fungo de podridão parda na madeira de marupá. De acordo com Worrall *et al.* (1997), apesar dos fungos de podridão parda deteriorarem de forma restrita os carboidratos, nos estágios finais, dependendo da madeira, pode ocorrer a metabolização da lignina, de modo a causar modificação em sua estrutura. Davis *et al.* (1994 a, b) relataram que

a alteração da estrutura da lignina se deve ao fato de que o ataque da podridão parda pode proporcionar a clivagem das ligações intermonoméricas do tipo éter, as quais se caracterizam por serem as principais (cerca de 2/3 do total) e menos estáveis. Por sua vez, Arantes; Milagres (2009) mencionam que a explicação mais plausível para a perda de intensidade das bandas de lignina está relacionada com a liberação de grupos metoxílicos proveniente das reações de desmetoxilação e não com a deterioração da lignina propriamente dita (ARANTES; MILAGRES, 2009) Entretanto, em razão do modelo de estruturação dos constituintes químicos na madeira, em que as moléculas de celulose encontram-se organizadas numa matriz constituída por polioses e lignina, conforme se pode observar na Figura 4.7, todo e qualquer microorganismo, independente das preferências alimentares, necessita modificar de alguma maneira a lignina, de modo a possibilitar a deterioração da holocelulose.

No caso das madeiras de jequitibá e cumarú, apenas as bandas em 1270 e 1240 cm^{-1} , atribuídas as vibrações do anel guaiacil e anel siringil da lignina, respectivamente, apresentaram redução de suas intensidades. Ao considerar, especificamente, a banda em 1240 cm^{-1} a principal explicação para o decréscimo da mesma está relacionado a deterioração das xilanas, as quais estão parcialmente associadas com essa banda (PANDEY; PITMAN, 2003), sendo esse composto a principal fração das polioses em folhosas (FENGEL; WEGENER, 1984).

Com relação às demais bandas de lignina, para *Cariniana micrantha*, verificou-se que as localizadas em 1510 e 1460 cm^{-1} permaneceram quase inalteradas, com redução das intensidades de 2% e 8%, respectivamente. Vale ressaltar aqui o fato de que a banda em 1510 cm^{-1} é considerada uma das poucas bandas puras de espectros infravermelho de madeiras. As variações reduzidas da intensidade dessa banda demonstram a viabilidade em usar essa metodologia para monitorar alterações da superfície de madeiras atacadas por fungos. Com relação a banda da lignina em 1600 cm^{-1} , uma observação detalhada nos espectros revela que a respectiva banda sobrepõem-se com a banda próxima em 1660 cm^{-1} , atribuída as vibrações de deformação da água (HOH) absorvida pela madeira, o que poderia justificar o fato da banda ter sua intensidade aumentada durante o período de ensaio de apodrecimento. Por sua vez, a madeira de *Dipteryx odorata* demonstrou, nas primeiras semanas, a tendência de decréscimo

na intensidade das bandas em 1600, 1510 e 1460 cm^{-1} , e posteriormente ocorreu o aumento das mesmas. Estudos realizados por Costa (2009); Pandey; Pitman (2003) corroboram com os resultados demonstrados, ao afirmarem que as intensidades das bandas da lignina são acrescidas não por estarem sofrendo um aumento do seu teor e sim pela metabolização dos carboidratos.

Em relação à exposição ao *Trametes versicolor*, verificou-se que as variações de intensidade das bandas relacionadas aos componentes químicos estruturais da madeira de *Simarouba amara* foram suaves, quando comparado ao ataque proporcionado pelo *Gloeophyllum trabeum*. A redução de intensidade foi verificada apenas para as bandas em 1510 (lignina), 1170 (polioses) e 900 (celulose) cm^{-1} , enquanto que as demais se mantiveram inalteradas ou apresentaram um acréscimo, no caso das bandas em 1735 e 1600 cm^{-1} .

Faix *et al.* (1991) ao estudarem as alterações químicas provocadas na madeira de *Fagus sylvatica* por diferentes fungos de podridão branca, como no caso do ataque por *Trametes versicolor*, verificaram que as reduções nas intensidades das bandas no *fingerprint* entre as regiões em 1200 e 900 cm^{-1} e em 1506 cm^{-1} , relativo aos polissacarídeos e lignina, respectivamente, foram mínimas, corroborando com os resultados do presente estudo.

Com relação ao acréscimo da banda em 1735 cm^{-1} na madeira de marupá, em razão do pequeno decréscimo da intensidade das bandas relacionadas aos polissacarídeos e a lignina, a principal justificativa pode ser atribuída a resistência a biodeterioração dos ácidos urônicos e das ramificações de grupos acetila na estrutura das xilanas, conforme mencionaram Schwanninger *et al.* (2004a) em estudo com resultados semelhantes para madeira de *Picea abies*.

Já para a madeira de *Dipteryx odorata*, ao contrário do observado para *Simarouba amara*, pode-se constatar que as intensidades de todas as bandas relacionadas aos carboidratos foram reduzidas com o ataque da podridão branca, exceção à banda em 1735 cm^{-1} , sendo esse último, devido, a deterioração e/ou transformação dos carboidratos e/ou lignina em compostos carbonílicos, bem como da presença de extrativos.

Ao considerar as bandas relacionadas à lignina, na madeira de cumarú, as mesmas apresentaram tendência de decrescerem com o ataque de *Trametes versicolor*. De acordo com Schwanninger *et al.* (2004a); Pandey; Nagveni (2007) esse resultado é esperado visto que os fungos de podridão branca apresentam capacidade de deteriorar de modo uniforme tanto os polissacarídeos quanto a lignina. É importante ressaltar que nesse caso, o fungo de podridão branca apresentou uma certa predisposição de ataque, visto que ao final do ensaio, as bandas relativas à lignina apresentaram-se mais reduzidas que algumas características dos carboidratos. De acordo com Blanchette (1984); Schwanninger *et al.* (2004a); Fackler *et al.* (2006), grande parte dos fungos de podridão branca apresentam como principal característica a deterioração seletiva da lignina. Apesar de alguns estudos (MOHEBBY, 2005; DAVIS *et al.*, 1994) apontarem o fungo *Trametes versicolor* como não-seletivo, outros (COSTA, 2009; PANDEY; NAGVENI, 2007) caracterizam o mesmo como sendo seletivo a lignina. Segundo Blanchette (1995) essas contradições de resultados na literatura podem ser explicadas pelo fato de que dependendo do tipo de madeira, um mesmo fungo pode proporcionar ataques diferenciados quanto a constituição química.

Por sua vez, para a madeira de *Cariniana micrantha*, verificou-se comportamento distinto ao encontrado na literatura, em que todas as bandas, independente do constituinte químico, apresentaram acréscimo de suas intensidades. Esse resultado pode ser justificado, possivelmente, pela presença de resquícios de micélios (Apêndice 10) na parte superficial da madeira, de modo a interferir na análise dos espectros.

Nas Tabelas 6.18 a 6.23 e Figuras 6.47 a 6.52 são apresentadas as correlações lineares e os modelos estatísticos de predição das modificações dos parâmetros químicos das madeiras de marupá, jequitibá e cumarú em função do período de exposição aos fungos apodrecedores.

Tabela 6.18 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* e o período de exposição ao fungo de podridão branca.

	1090	1135	1170	1240	1270	1330	1375	1430	1460	1510	1600	1735	Período
900	-0,21 (0,49 ^{NS})	0,19 (0,52 ^{NS})	0,62 (0,02*)	0,19 (0,54 ^{NS})	0,31 (0,31 ^{NS})	0,24 (0,44 ^{NS})	0,17 (0,58 ^{NS})	0,06 (0,85 ^{NS})	0,25 (0,40 ^{NS})	0,56 (0,05*)	-0,31 (0,29 ^{NS})	-0,56 (0,04*)	-0,64 (0,02*)
1090	-	0,84 (<0,01**)	0,53 (0,54 ^{NS})	0,66 (0,01*)	0,53 (0,06 ^{NS})	0,78 (<0,01**)	0,73 (<0,01**)	0,59 (0,03*)	0,33 (0,26 ^{NS})	0,14 (0,64 ^{NS})	0,34 (0,26 ^{NS})	0,56 (0,04*)	-0,11 (0,72 ^{NS})
1135	-	-	0,88 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,81 (<0,01**)	0,80 (<0,01**)	0,78 (<0,01**)	0,64 (0,02*)	0,54 (0,05 ^{NS})	0,51 (0,08 ^{NS})	0,13 (0,66 ^{NS})	0,23 (0,45 ^{NS})	-0,54 (0,06 ^{NS})
1170	-	-	-	0,74 (<0,01**)	0,77 (<0,01**)	0,72 (<0,01**)	0,67 (0,01*)	0,50 (0,08 ^{NS})	0,52 (0,07 ^{NS})	0,63 (0,02*)	-0,08 (0,78 ^{NS})	-0,14 (0,66 ^{NS})	-0,70 (<0,01**)
1240	-	-	-	-	0,94 (<0,01**)	0,80 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,69 (<0,01**)	0,48 (0,10 ^{NS})	0,45 (0,12 ^{NS})	-0,72 (<0,01**)
1270	-	-	-	-	-	0,76 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,43 (0,14 ^{NS})	0,35 (0,24 ^{NS})	-0,82 (<0,01**)
1330	-	-	-	-	-	-	0,95 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,66 (0,01*)	0,46 (0,12 ^{NS})	0,53 (0,06 ^{NS})	0,50 (0,08 ^{NS})	-0,42 (0,15 ^{NS})
1375	-	-	-	-	-	-	-	0,94 (<0,01**)	0,80 (<0,01**)	0,58 (0,04*)	0,63 (0,02*)	0,57 (0,04*)	-0,49 (0,09 ^{NS})
1430	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91 (<0,01**)	0,63 (0,02*)	0,79 (<0,01**)	0,69 (<0,01**)	-0,53 (0,06 ^{NS})
1460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86 (<0,01**)	0,63 (0,02*)	0,48 (0,10 ^{NS})	-0,77 (<0,01**)
1510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19 (0,52 ^{NS})	0,05 (0,87 ^{NS})	-0,90 (<0,01**)
1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,90 (<0,01**)	-0,08 (0,78 ^{NS})
1735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07 (0,80 ^{NS})

Em que: **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Tabela 6.19 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* e o período de exposição ao fungo de podridão parda.

	1090	1135	1170	1240	1270	1330	1375	1430	1460	1510	1600	1735	Período
900	0,88 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,77 (<0,01**)	0,79 (<0,01**)	0,74 (0,01*)	0,68 (0,01*)	0,62 (0,02*)	0,18 (0,55 ^{NS})	- 0,54 (0,06 ^{NS})	- 0,72 (<0,01**)
1090	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)	0,50 (0,08 ^{NS})	- 0,20 (0,50 ^{NS})	- 0,87 (<0,01**)
1135	-	-	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)	0,49 (0,09 ^{NS})	- 0,24 (0,44 ^{NS})	- 0,89 (<0,01**)
1170	-	-	-	0,98 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,52 (0,07 ^{NS})	- 0,21 (0,48 ^{NS})	- 0,91 (<0,01**)
1240	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,65 (0,02*)	- 0,06 (0,84 ^{NS})	- 0,93 (<0,01**)
1270	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,63 (0,02*)	- 0,09 (0,78 ^{NS})	- 0,92 (<0,01**)
1330	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,73 (<0,01**)	0,04 (0,88 ^{NS})	- 0,93 (<0,01**)
1375	-	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,71 (<0,01**)	0,03 (0,91 ^{NS})	- 0,93 (<0,01**)
1430	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,77 (<0,01**)	0,11 (0,73 ^{NS})	- 0,94 (<0,01**)
1460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,98 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,19 (0,52 ^{NS})	- 0,92 (<0,01**)
1510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86 (<0,01**)	0,24 (0,43 ^{NS})	- 0,89 (<0,01**)
1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68 (0,02*)	- 0,69 (<0,01**)
1735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 0,03 (0,91 ^{NS})

Em que: **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Tabela 6.20 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* e o período de exposição ao fungo de podridão branca.

	1090	1135	1170	1240	1270	1330	1375	1430	1460	1510	1600	1735	Período
900	0,93 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,76 (<0,01**)	0,67 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)
1090	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)
1135	-	-	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,81 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)
1170	-	-	-	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,81 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)
1240	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)
1270	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)
1330	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)
1375	-	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)
1430	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)
1460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,94 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)
1510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,85 (<0,01**)	0,74 (<0,01**)	0,74 (<0,01**)
1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,97 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)
1735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,72 (<0,01**)

Em que: **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Tabela 6.21 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* e o período de exposição ao fungo de podridão parda.

	1090	1135	1170	1240	1270	1330	1375	1430	1460	1510	1600	1735	Período
900	0,91 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,77 (0,04*)	0,71 (0,02*)	0,74 (0,01*)	0,63 (0,02*)	0,44 (0,13 ^{NS})	- 0,03 (0,92 ^{NS})	- 0,15 (0,63 ^{NS})	- 0,81 (<0,01**)	- 0,77 (<0,01**)
1090	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,71 (<0,01**)	0,32 (0,29 ^{NS})	0,16 (0,59 ^{NS})	- 0,62 (0,02*)	- 0,90 (<0,01**)
1135	-	-	0,99 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,69 (<0,01**)	0,33 (0,28 ^{NS})	0,12 (0,68 ^{NS})	- 0,67 (0,01*)	- 0,90 (<0,01**)
1170	-	-	-	0,96 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)	0,69 (<0,01**)	0,31 (0,31 ^{NS})	0,12 (0,70 ^{NS})	- 0,67 (0,01*)	- 0,90 (<0,01**)
1240	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,53 (0,06 ^{NS})	0,37 (0,22 ^{NS})	- 0,48 (0,10 ^{NS})	- 0,90 (<0,01**)
1270	-	-	-	-	-	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,63 (0,02*)	0,45 (0,12 ^{NS})	- 0,41 (0,16 ^{NS})	- 0,88 (<0,01**)
1330	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,68 (0,01*)	0,56 (0,05*)	- 0,28 (0,36 ^{NS})	- 0,88 (<0,01**)
1375	-	-	-	-	-	-	-	0,98 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,61 (0,03*)	0,52 (0,07 ^{NS})	- 0,30 (0,31 ^{NS})	- 0,87 (<0,01**)
1430	-	-	-	-	-	-	-	-	0,97 (<0,01**)	0,73 (<0,01**)	0,66 (0,01*)	- 0,15 (0,61 ^{NS})	- 0,81 (<0,01**)
1460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86 (<0,01**)	0,79 (<0,01**)	- 0,02 (0,94 ^{NS})	- 0,73 (<0,01**)
1510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,88 (<0,01**)	0,33 (0,28 ^{NS})	- 0,45 (0,12 ^{NS})
1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62 (0,02*)	- 0,26 (0,39 ^{NS})
1735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52 (0,07 ^{NS})

Em que: **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Tabela 6.22 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* e o período de exposição ao fungo de podridão branca.

	1090	1135	1170	1240	1270	1330	1375	1430	1460	1510	1600	1735	Período
900	- 0,58 (0,04*)	0,93 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,78 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,79 (<0,01**)	0,39 (0,18 ^{NS})	- 0,60 (0,03*)	- 0,55 (0,05*)
1090	-	0,76 (<0,01**)	0,71 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,86 (<0,01**)	0,79 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,003 (0,99 ^{NS})	- 0,04 (0,89 ^{NS})
1135	-	-	0,99 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,51 (0,07 ^{NS})	- 0,50 (0,09 ^{NS})	- 0,54 (0,06 ^{NS})
1170	-	-	-	0,88 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,86 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,45 (0,12 ^{NS})	- 0,52 (0,07 ^{NS})	- 0,58 (0,04*)
1240	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,96 (<0,01**)	0,80 (<0,01**)	- 0,25 (0,40 ^{NS})	- 0,28 (0,35 ^{NS})
1270	-	-	-	-	-	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,76 (<0,01**)	- 0,28 (0,35 ^{NS})	- 0,31 (0,31 ^{NS})
1330	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,98 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,79 (<0,01**)	- 0,25 (0,41 ^{NS})	- 0,30 (0,32 ^{NS})
1375	-	-	-	-	-	-	-	0,98 (<0,01**)	0,99 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,75 (<0,01**)	- 0,24 (0,43 ^{NS})	- 0,31 (0,30 ^{NS})
1430	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,80 (<0,01**)	- 0,11 (0,72 ^{NS})	- 0,16 (0,60 ^{NS})
1460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,97 (<0,01**)	0,74 (<0,01**)	- 0,22 (0,47 ^{NS})	- 0,31 (0,30 ^{NS})
1510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,74 (<0,01**)	- 0,28 (0,36 ^{NS})	- 0,37 (0,22 ^{NS})
1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05 (0,86 ^{NS})	0,15 (0,63 ^{NS})
1735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,73 (<0,01**)

Em que: **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Tabela 6.23 Matriz de correlação entre as alterações dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* e o período de exposição ao fungo de podridão parda.

	1090	1135	1170	1240	1270	1330	1375	1430	1460	1510	1600	1735	Período
900	0,79 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,69 (<0,01**)	0,51 (0,07 ^{NS})	0,34 (0,26 ^{NS})	0,18 (0,54 ^{NS})	0,07 (0,82 ^{NS})	- 0,17 (0,58 ^{NS})	- 0,33 (0,27 ^{NS})	- 0,45 (0,13 ^{NS})	- 0,69 (<0,01**)	- 0,71 (<0,01**)
1090	-	0,96 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,68 (0,01*)	0,51 (0,07 ^{NS})	0,39 (0,19 ^{NS})	0,29 (0,33 ^{NS})	0,004 (0,99 ^{NS})	- 0,28 (0,35 ^{NS})	- 0,28 (0,35 ^{NS})	- 0,49 (0,09 ^{NS})	- 0,61 (0,03*)
1135	-	-	0,99 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,70 (<0,01**)	0,52 (0,07 ^{NS})	0,38 (0,20 ^{NS})	0,27 (0,38 ^{NS})	- 0,007 (0,98 ^{NS})	- 0,25 (0,41 ^{NS})	- 0,31 (0,30 ^{NS})	- 0,57 (0,04*)	- 0,65 (0,02*)
1170	-	-	-	0,85 (<0,01**)	0,67 (0,01*)	0,48 (0,09 ^{NS})	0,34 (0,2 ^{NS})	0,23 (0,45 ^{NS})	- 0,05 (0,88 ^{NS})	- 0,29 (0,35 ^{NS})	- 0,35 (0,24 ^{NS})	- 0,60 (0,03*)	- 0,67 (0,01*)
1240	-	-	-	-	0,95 (<0,01**)	0,86 (<0,01**)	0,77 (<0,01**)	0,69 (<0,01**)	0,46 (0,11 ^{NS})	- 0,20 (0,50 ^{NS})	0,17 (0,58 ^{NS})	- 0,11 (0,71 ^{NS})	- 0,23 (0,45 ^{NS})
1270	-	-	-	-	-	0,97 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,71 (<0,01**)	- 0,50 (0,08 ^{NS})	0,46 (0,12 ^{NS})	0,15 (0,63 ^{NS})	0,06 (0,84 ^{NS})
1330	-	-	-	-	-	-	0,98 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,67 (0,01*)	0,63 (0,01*)	0,35 (0,23 ^{NS})	0,27 (0,37 ^{NS})
1375	-	-	-	-	-	-	-	0,99 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,76 (<0,01**)	0,74 (<0,01**)	0,51 (0,07 ^{NS})	0,42 (0,16 ^{NS})
1430	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)	0,81 (<0,01**)	0,61 (0,03*)	0,52 (0,07 ^{NS})
1460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,77 (<0,01**)	0,72 (<0,01**)
1510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,97 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)
1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,88 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)
1735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,92 (<0,01**)

Em que: **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

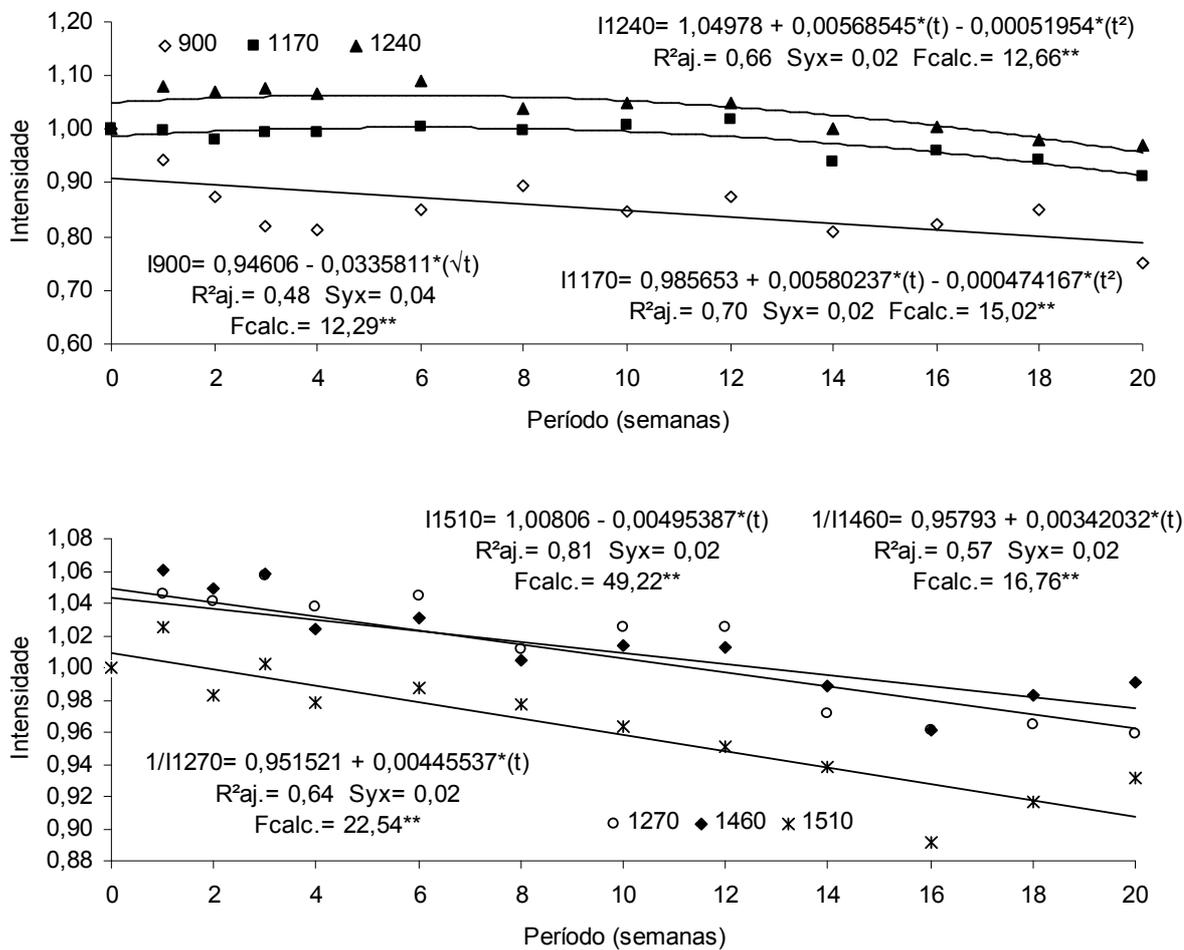


Figura 6.47 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

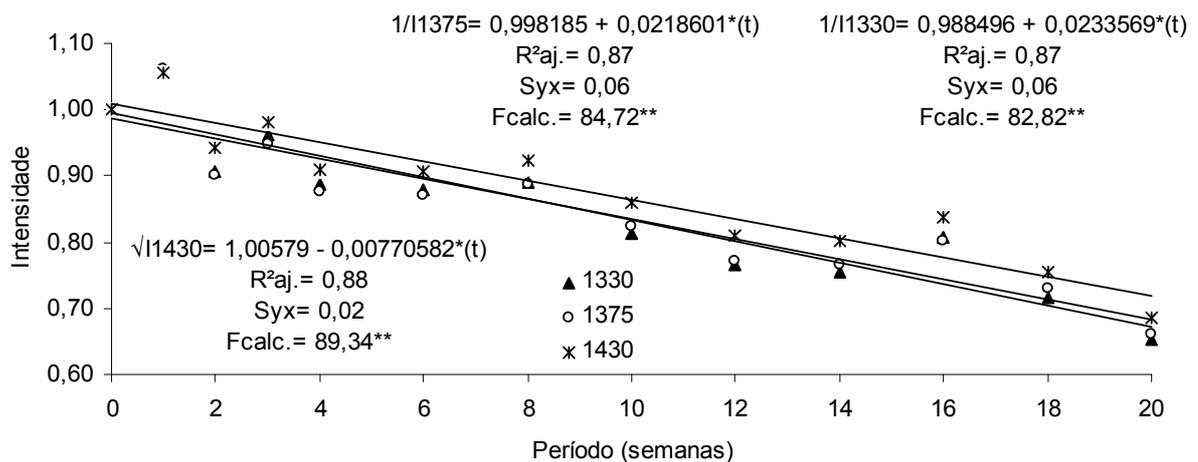
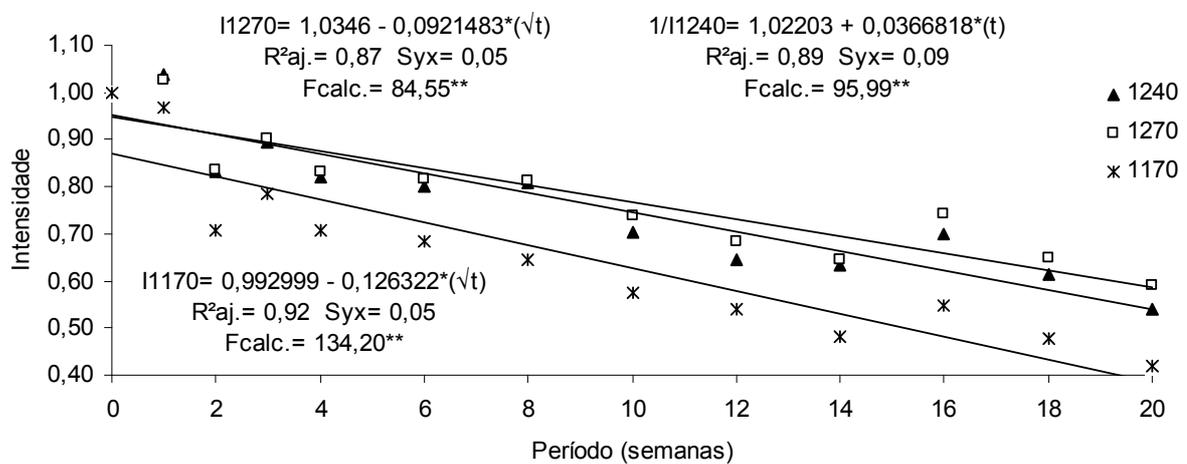
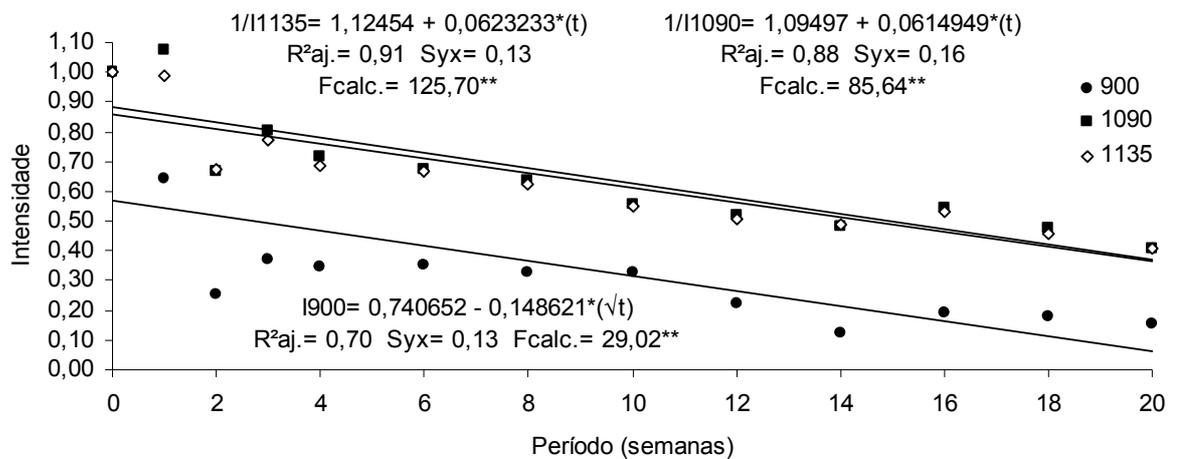


Figura 6.48 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

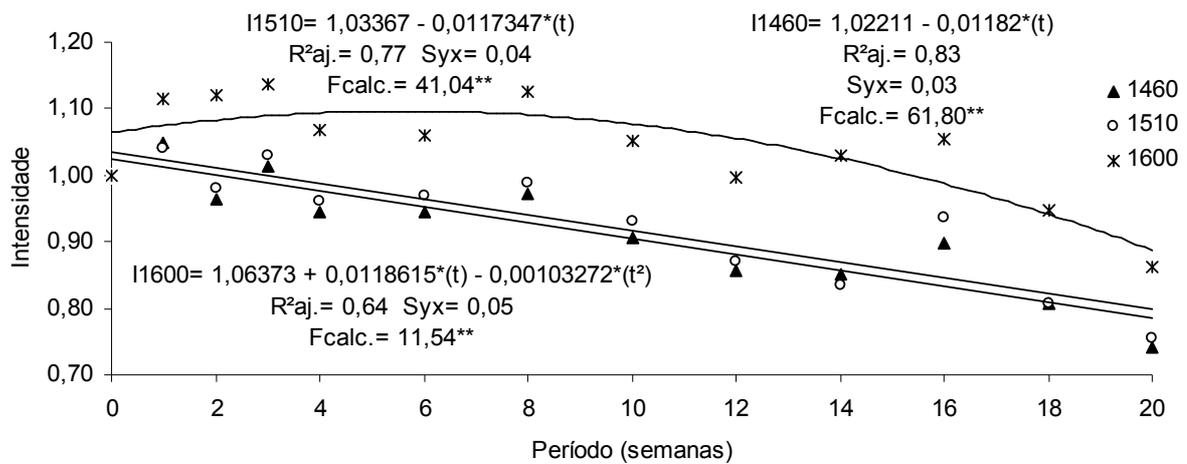


Figura 6.48 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

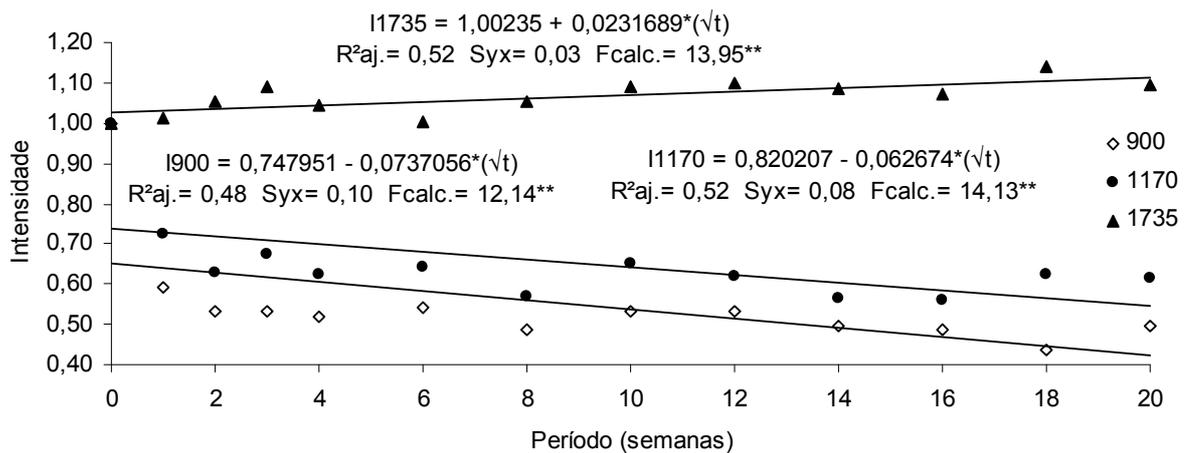


Figura 6.49 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

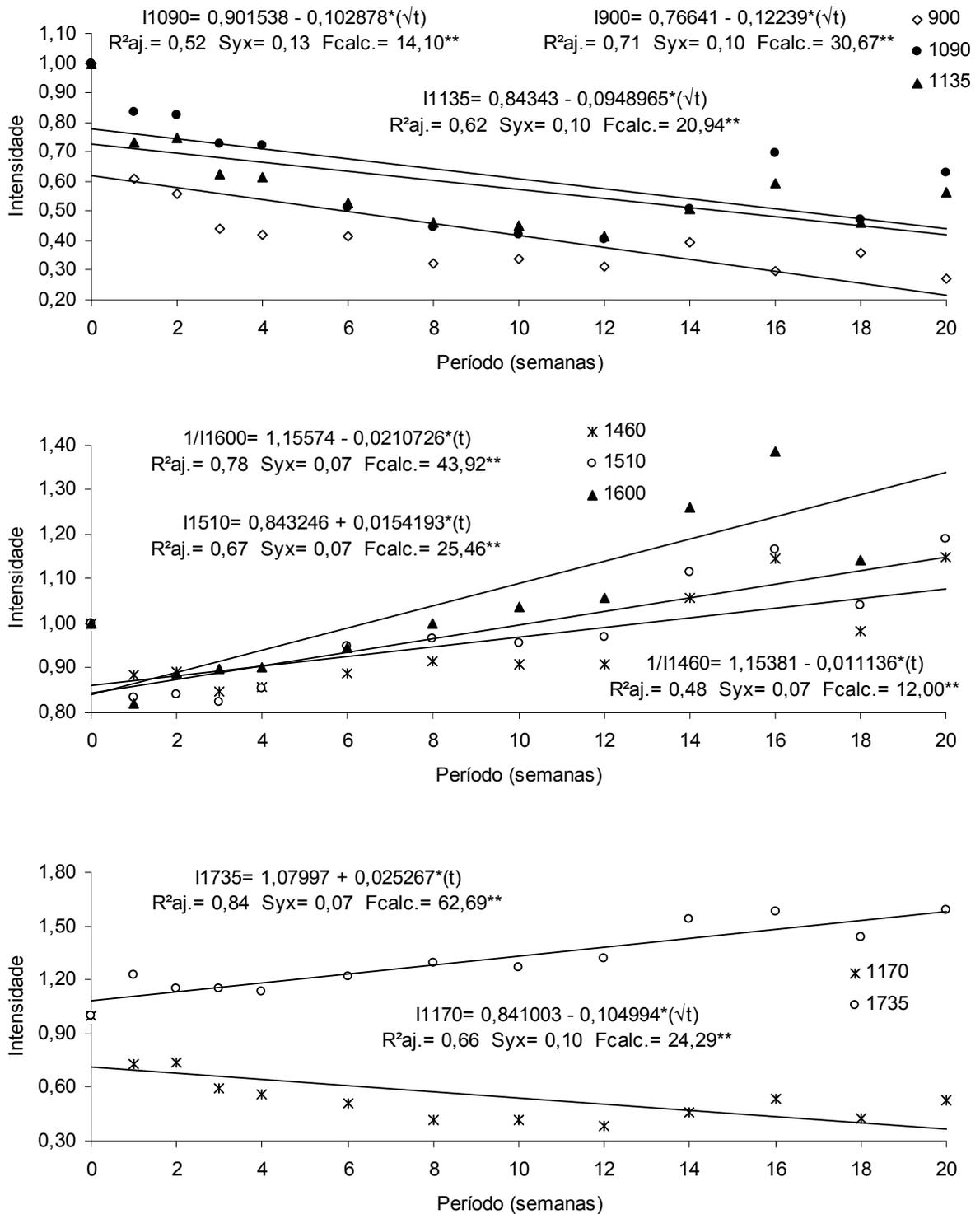


Figura 6.50 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

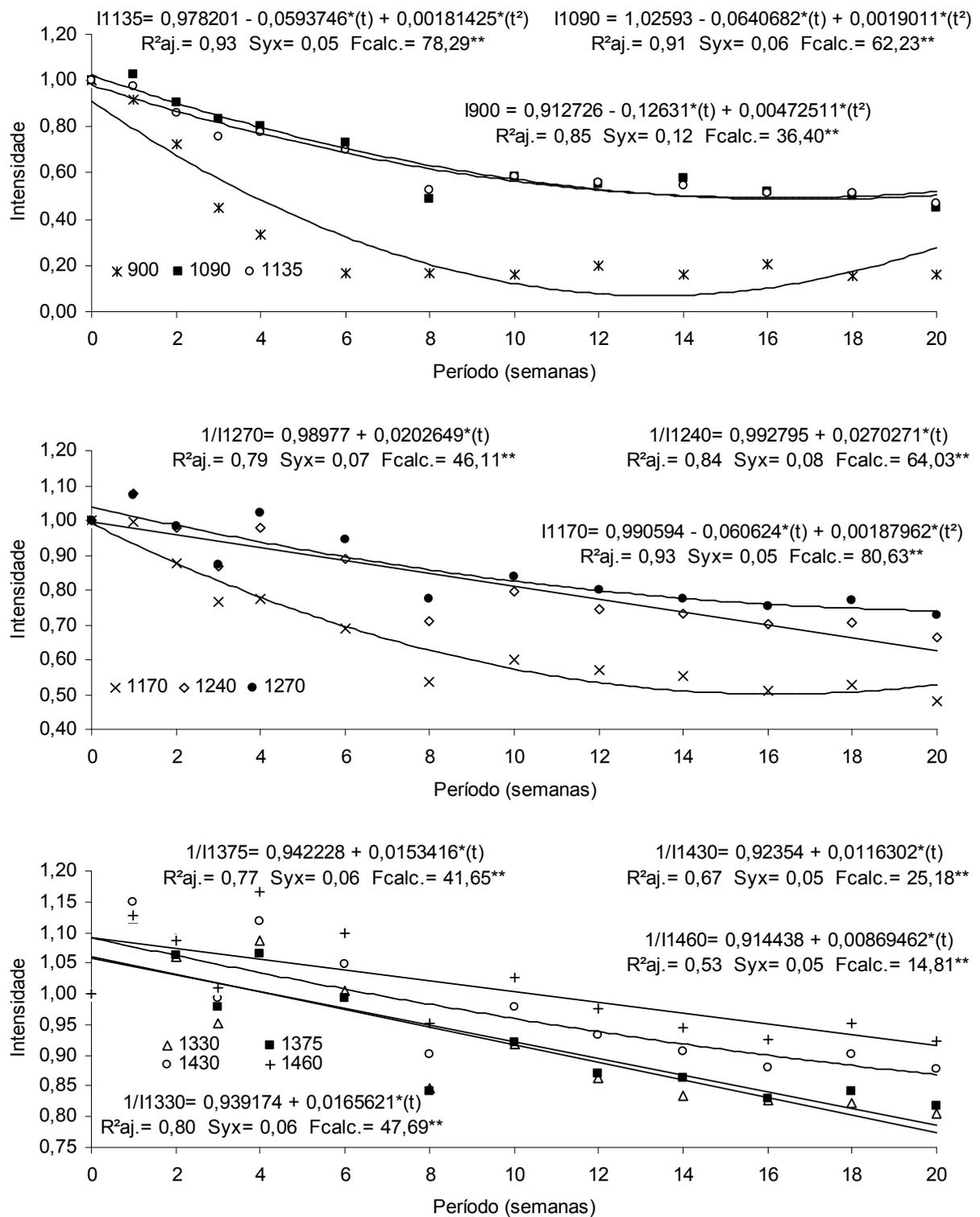


Figura 6.51 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

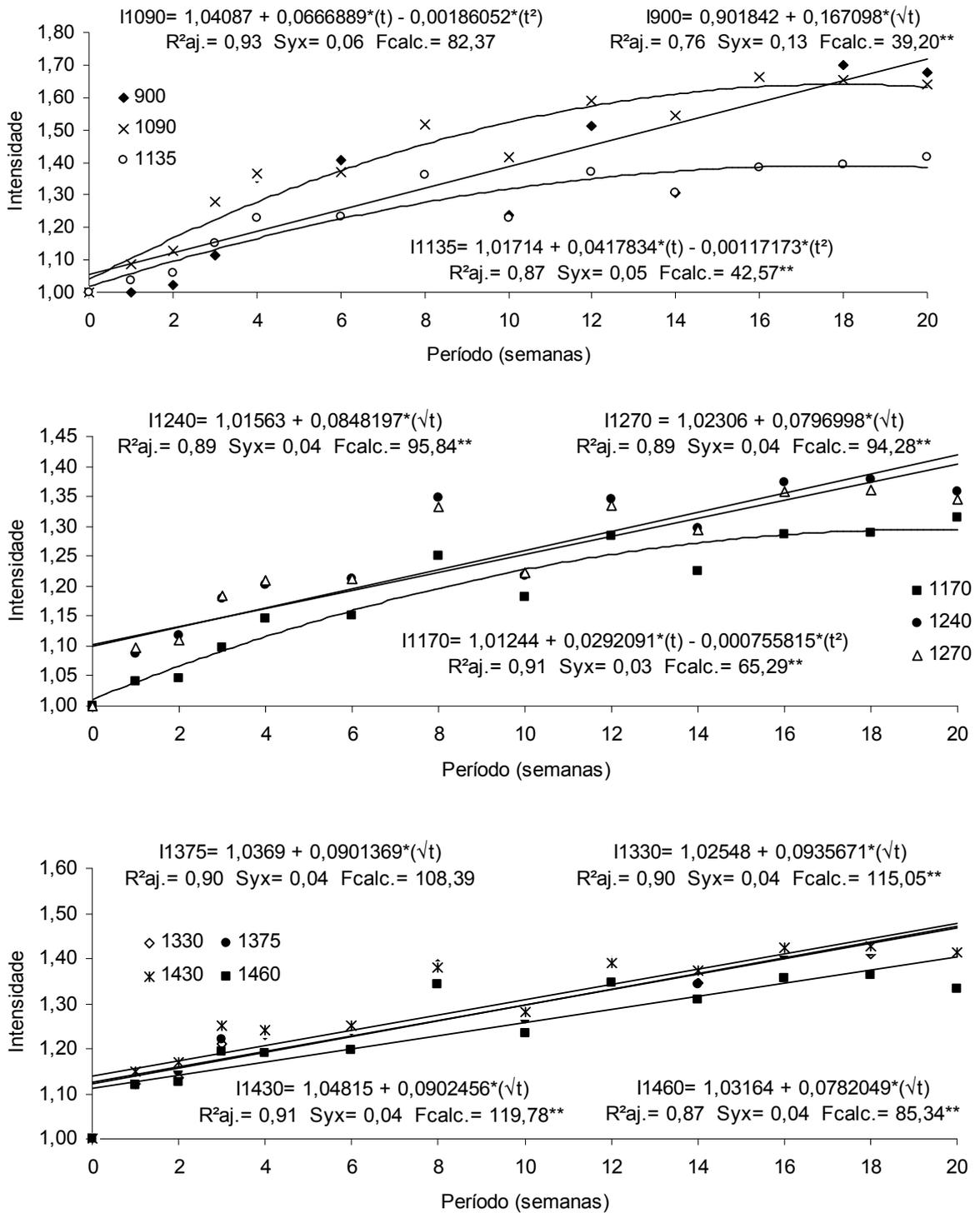


Figura 6.52 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

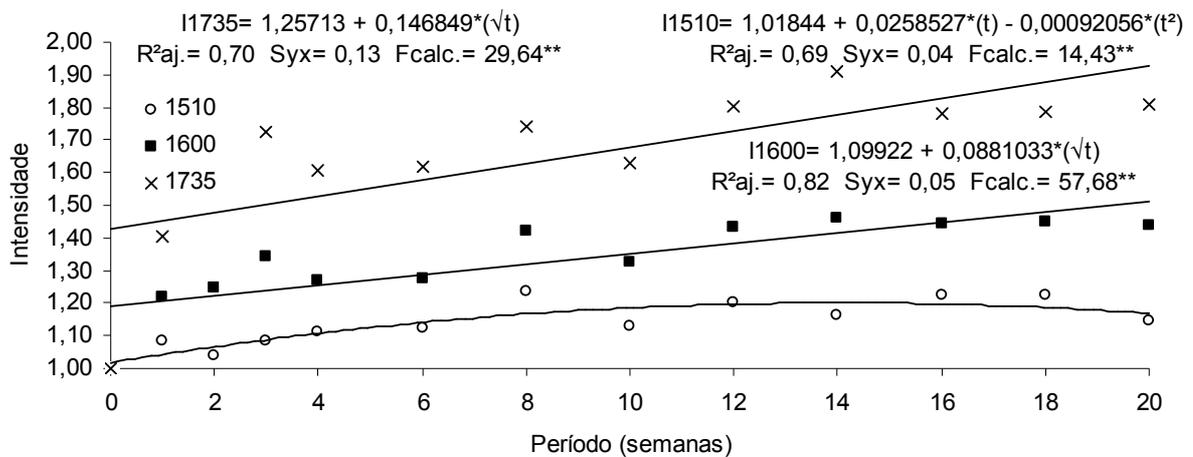


Figura 6.52 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

Por meio da análise dos parâmetros estatísticos, foi possível observar que mais de um parâmetro químico apresentou correlação com o período de exposição aos microrganismos, sendo que, apesar dos diferentes mecanismos de deterioração da madeira, as bandas em 1170 e 900 cm^{-1} foram características para as combinações entre as três espécies florestais e os dois fungos apodrecedores. No entanto, deve-se destacar que as duas bandas apresentam alturas relativamente pequenas, portanto os dados resultantes estão mais sujeitos a erros do que bandas com alturas maiores.

Ao analisar os fungos apodrecedores, observou-se que as madeiras submetidas ao ataque de *Gloeophyllum trabeum* apresentaram um maior número, bem como melhores correlações com as modificações dos parâmetros químicos.

Devido a sobreposição da maioria das bandas dos componentes químicos das madeiras e para melhor compreensão das modificações nas madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*, observa-se na Tabela 6.24 e Figuras 6.53 a 6.58 as correlações lineares e os modelos de predição, respectivamente, entre as relações de intensidade das bandas associadas à lignina com os carboidratos e o período de exposição aos fungos apodrecedores.

Tabela 6.24 Correlação entre as intensidades relativas ($I_{\text{lignina}}/I_{\text{carboidrato}}$) e o período de exposição das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* aos fungos apodrecedores.

<i>Simarouba amara</i>										
	I_{1510}/I_{900}	I_{1510}/I_{1090}	I_{1510}/I_{1135}	I_{1510}/I_{1170}	I_{1510}/I_{1330}	I_{1510}/I_{1375}	I_{1510}/I_{1430}	I_{1510}/I_{1735}	I_{1240}/I_{1270}	I_{1430}/I_{900}
P-TV	0,18	- 0,42	- 0,26	- 0,38	- 0,64	- 0,68	- 0,65	- 0,46	0,09	0,41
(semanas)	(0,55 ^{NS})	(0,15 ^{NS})	(0,38 ^{NS})	(0,20 ^{NS})	(0,02*)	(<0,01**)	(0,02*)	(0,11 ^{NS})	(0,76 ^{NS})	(0,16 ^{NS})
P-GT	0,78	0,89	0,91	0,92	0,82	0,71	0,73	- 0,77	- 0,88	0,75
(semanas)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)
<i>Cariniana micrantha</i>										
	I_{1510}/I_{900}	I_{1510}/I_{1090}	I_{1510}/I_{1135}	I_{1510}/I_{1170}	I_{1510}/I_{1330}	I_{1510}/I_{1375}	I_{1510}/I_{1430}	I_{1510}/I_{1735}	I_{1240}/I_{1270}	I_{1430}/I_{900}
P-TV	- 0,83	- 0,86	- 0,86	- 0,85	- 0,87	- 0,83	- 0,80	- 0,50	0,68	- 0,68
(semanas)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,02*)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,08 ^{NS})	(0,01*)	(<0,01**)
P-GT	0,75	0,90	0,88	0,87	0,82	0,73	0,68	- 0,72	- 0,87	0,75
(semanas)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,01*)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)
<i>Dipteryx odorata</i>										
	I_{1510}/I_{900}	I_{1510}/I_{1090}	I_{1510}/I_{1135}	I_{1510}/I_{1170}	I_{1510}/I_{1330}	I_{1510}/I_{1375}	I_{1510}/I_{1430}	I_{1510}/I_{1735}	I_{1240}/I_{1270}	I_{1430}/I_{900}
P-TV	0,64	- 0,52	0,54	0,64	- 0,32	- 0,29	- 0,64	- 0,59	0,51	0,73
(semanas)	(0,02*)	(0,07 ^{NS})	(0,06 ^{NS})	(0,02*)	(0,28 ^{NS})	(0,33 ^{NS})	(0,02*)	(0,03*)	(0,07 ^{NS})	(<0,01**)
P-GT	0,92	0,74	0,86	0,86	0,77	0,73	0,66	- 0,30	- 0,81	0,90
(semanas)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,01*)	(0,32 ^{NS})	(<0,01**)	(<0,01**)

Em que: P-TV= Período de exposição ao *Trametes versicolor*; P-GT= Período de exposição ao *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

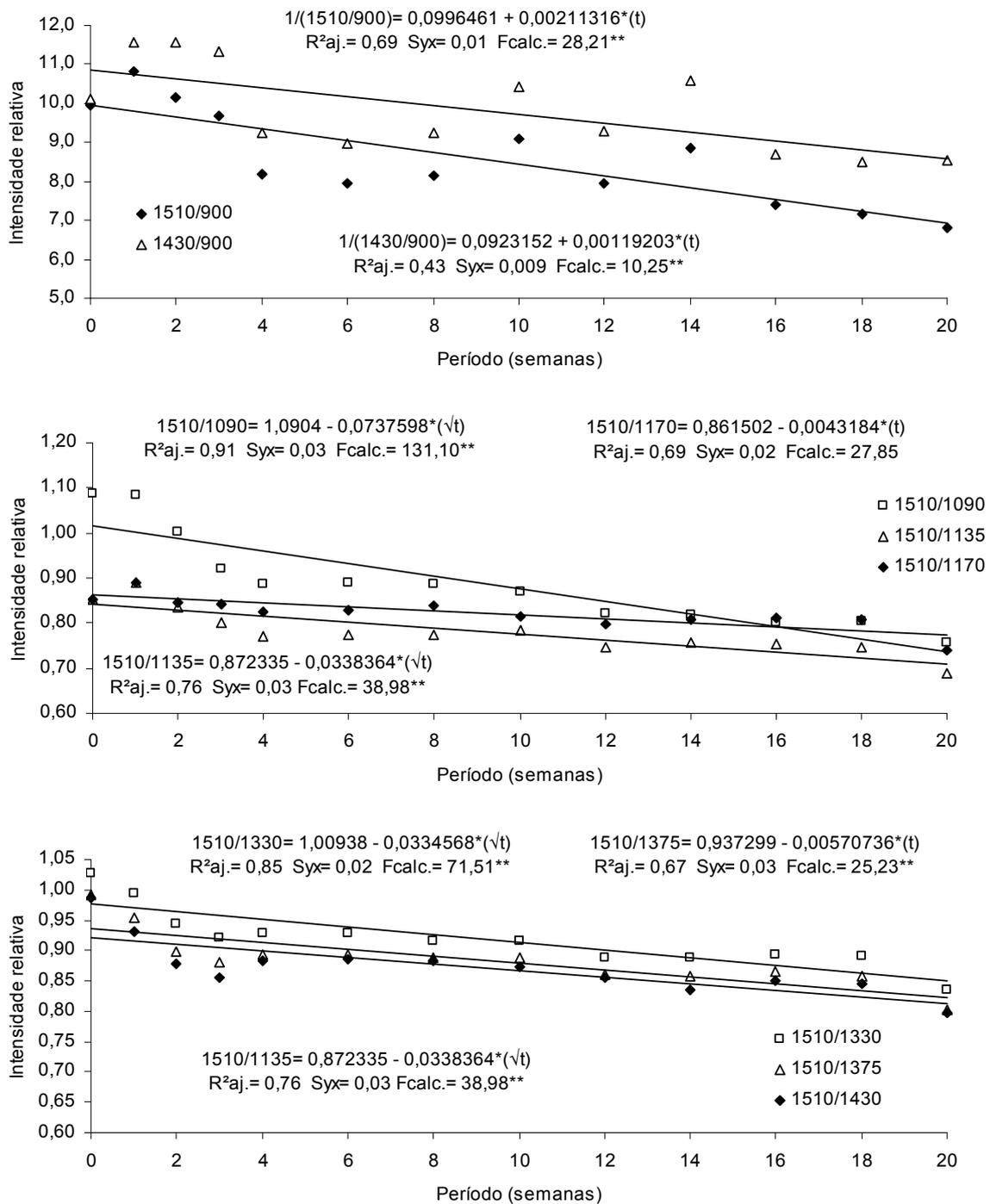


Figura 6.53 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

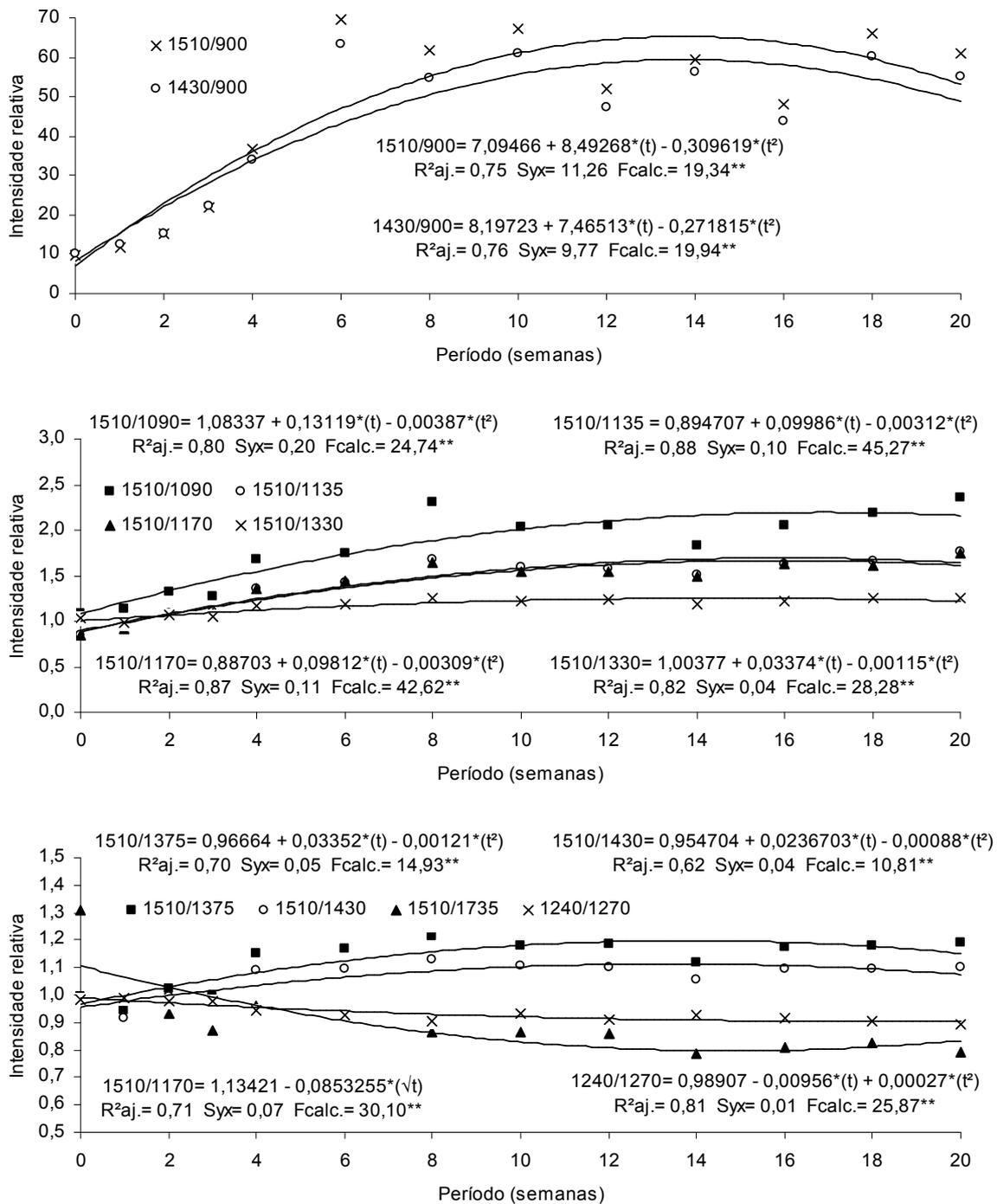


Figura 6.54 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

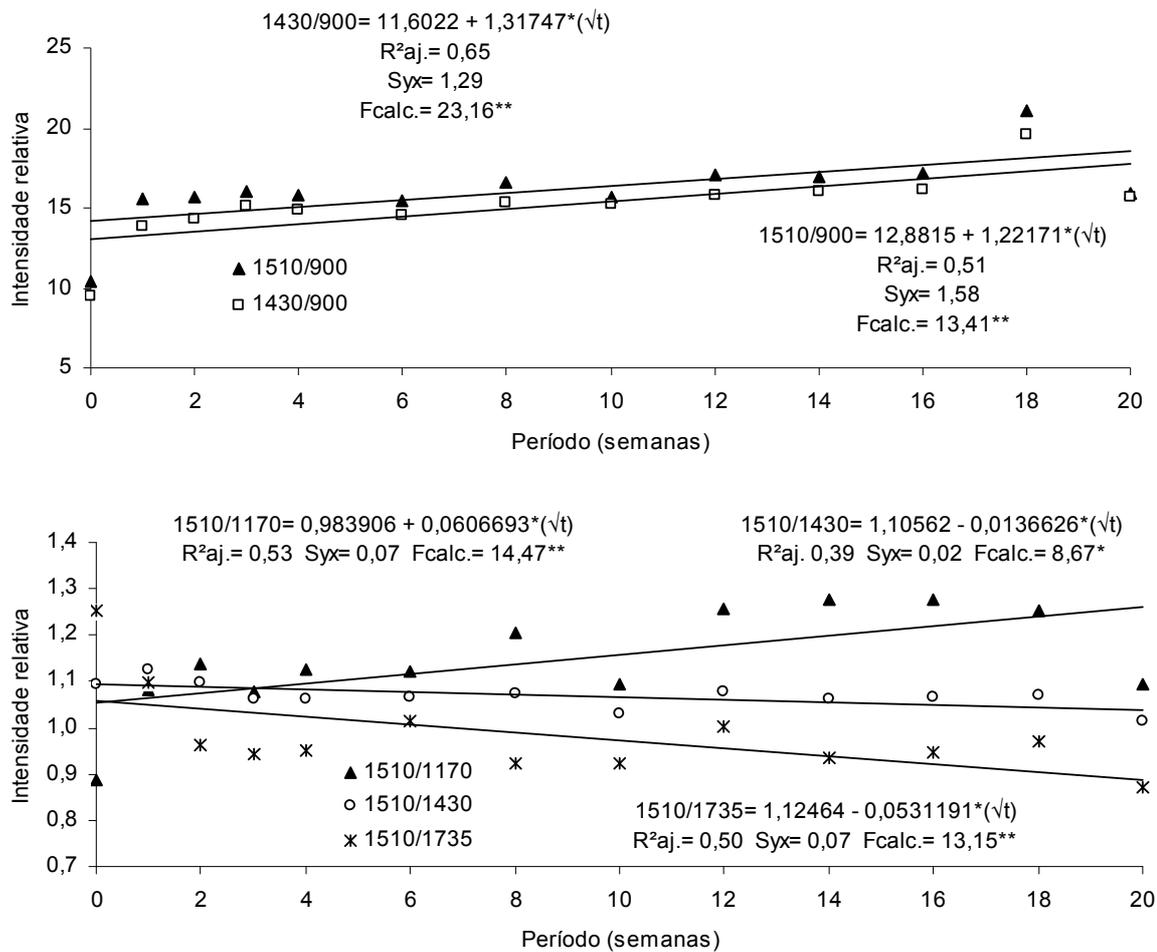


Figura 6.55 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

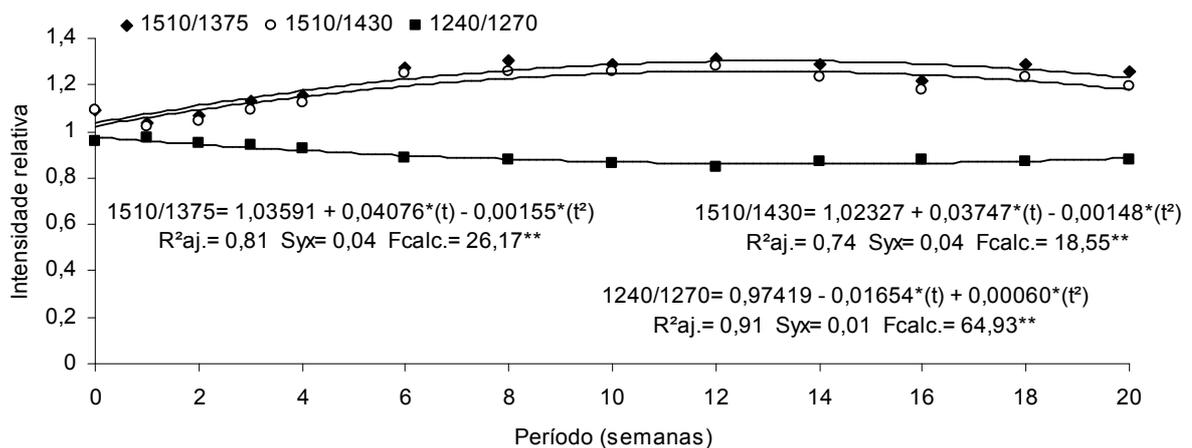
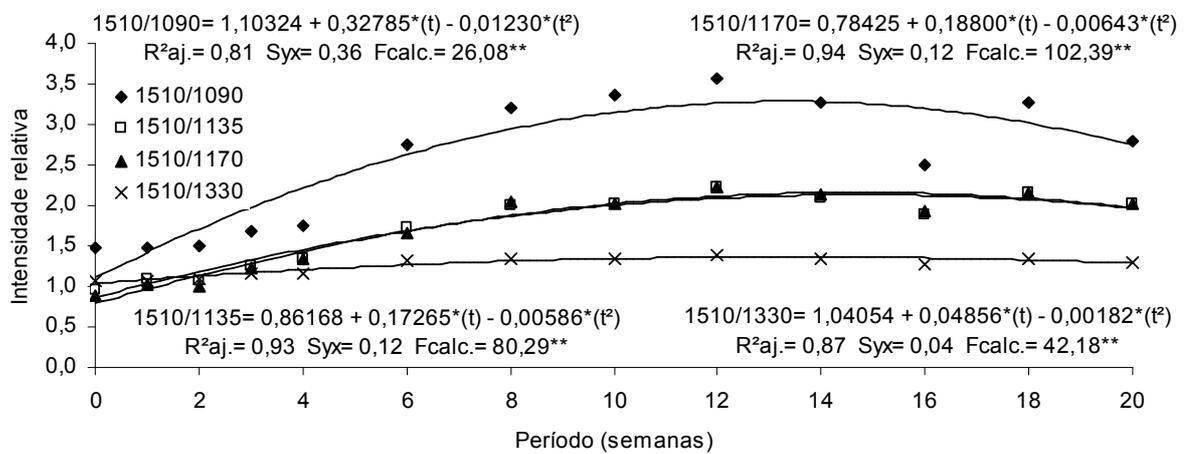
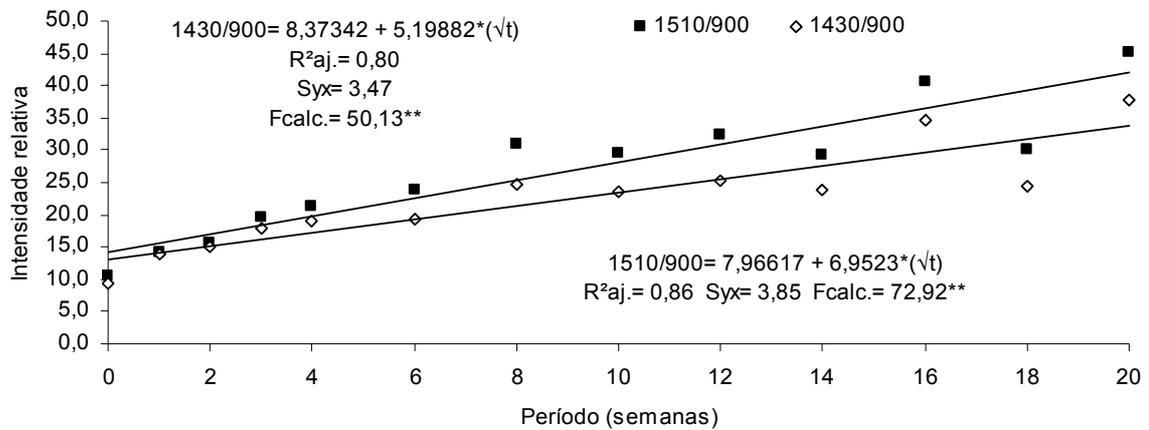


Figura 6.56 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

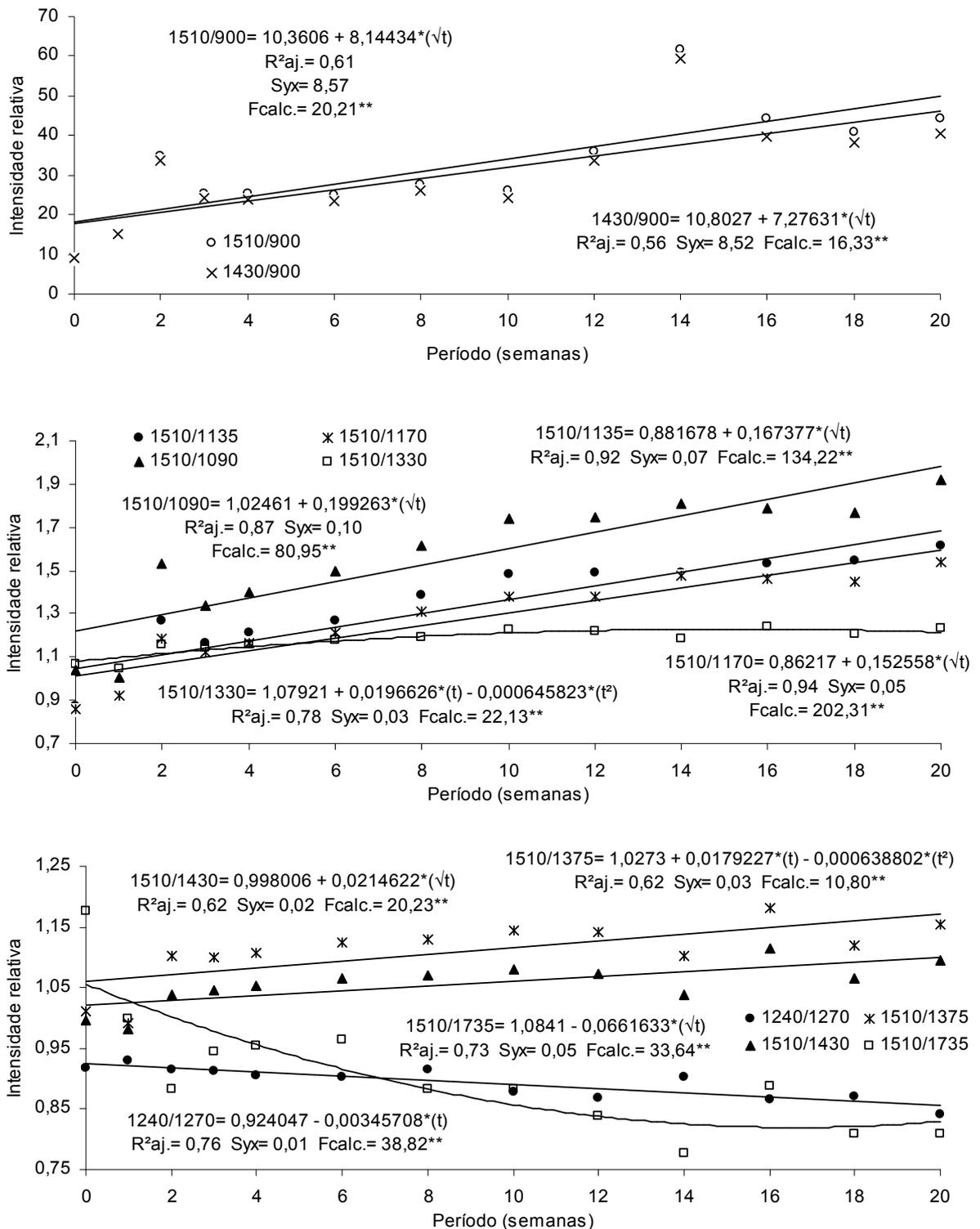


Figura 6.57 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

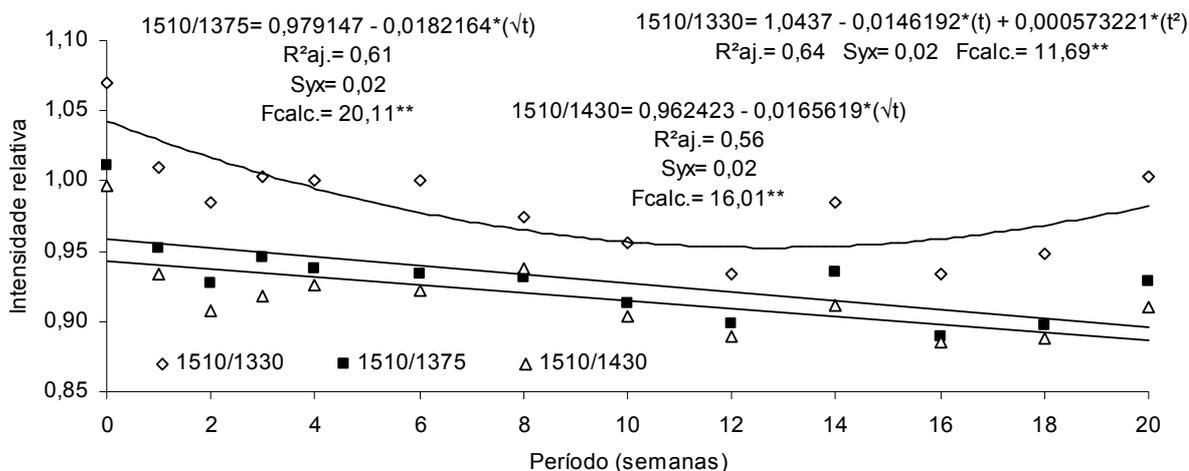


Figura 6.58 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração intensidade relativa dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* em função do tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

Ao analisar o ataque proporcionado pelo *Gloeophyllum trabeum*, na madeira das três espécies, foi possível perceber que as intensidades relativas de I_{1510}/I_{900} , I_{1510}/I_{1090} , I_{1510}/I_{1135} , I_{1510}/I_{1170} , I_{1510}/I_{1330} , I_{1510}/I_{1375} e I_{1510}/I_{1430} apresentaram correlação positiva, de modo significativo, com o período de apodrecimento, ou seja as razões foram acrescidas. Esse resultado corrobora com o exposto anteriormente, em que apesar da modificação e/ou deterioração parcial da lignina, o fungo causador da podridão parda ocasiona, exclusivamente, a deterioração dos carboidratos (celulose e polioses). É importante ressaltar que as respectivas bandas dos carboidratos não apresentam contribuição significativa para a lignina (HARRINGTON *et al.*, 1964; PANDEY; PITMAN, 2003).

Com relação à exposição da madeira ao fungo de podridão branca verificaram-se distintas correlações em razão da espécie florestal. Para a madeira de *Cariniana micrantha*, constatou-se que as intensidades relativas de I_{1510}/I_{900} , I_{1510}/I_{1135} , I_{1510}/I_{1170} , I_{1510}/I_{1330} , I_{1510}/I_{1375} e I_{1510}/I_{1430} apresentaram correlação significativa com o período de exposição ao *Trametes versicolor*, enquanto que para *Simarouba amara*, apenas, as intensidades relativas de I_{1510}/I_{1330} , I_{1510}/I_{1375} e I_{1510}/I_{1430} . No entanto, em ambos os casos as correlações foram negativas, ou seja, pode-se perceber que o fungo *Trametes versicolor* apresentou característica de seletividade à deterioração da lignina. Segundo Pandey; Pitman (2003) apesar do fungo *Trametes versicolor* proporcionar o ataque indistinto dos constituintes químicos da madeira, o mesmo pode

apresentar, por vezes, dependendo da espécie florestal, predisposição a despolimerização da lignina, refletindo assim numa redução da relação $I_{\text{lignina}}/I_{\text{carboidrato}}$.

Por sua vez, para madeira de *Dipteryx odorata* pode-se notar duas situações distintas, a primeira de que a intensidade relativa de I_{1510}/I_{1430} apresentou correlação negativa, e, a segunda, de que as intensidades relativas de I_{1510}/I_{1170} e I_{1510}/I_{900} foram correlacionadas positivamente, de modo significativo, com o período de deterioração do fungo de podridão branca. Esse resultado demonstrou que apesar da seletividade à lignina, quando considerada a banda relativa à celulose (1430 cm^{-1}), a mesma predisposição não foi verificada ao observar as intensidades relativas de I_{1510}/I_{1170} e I_{1510}/I_{900} , sendo que nessas últimas pode-se afirmar que a seletividade de ataque ocorre para os carboidratos. O comportamento diferenciado verificado para a madeira de cumarú pode sugerir que nesse caso o ataque proporcionado pelo *Trametes versicolor* foi indistinto.

O uso do FTIR tem sido proposto em diversos estudos (EVANS *et al.*, 1995; ÅKERHOLM *et al.*, 2004; COLOM *et al.*, 2003; SCHWANNINGER *et al.*, 2004a) como subsídio na estimativa da cristalinidade da celulose. Dentre as intensidades relativas empregadas na caracterização da cristalinidade destaca-se a I_{1430}/I_{1900} , a qual se refere ao índice de ordenamento lateral. Nesse sentido, verificou-se que para as madeiras atacadas pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* a intensidade relativa de I_{1430}/I_{1900} foi correlacionada positivamente, de modo significativo, com o período de exposição, ocorrendo um aumento da cristalinidade. Tal resultado é de extrema relevância para o entendimento da bioquímica do apodrecimento provocado pela podridão parda, ao demonstrar que o microorganismo tem uma propensão a deterioração das zonas de menor ordenamento (amorfais) em comparação com as zonas de maior ordenamento (cristalinas) da celulose. Oliveira *et al.* (1986); Green; Highley (1997) e Howell *et al.* (2009) corroboram com os resultados ao afirmarem que, em especial, nos primeiros estágios ocorre intensa deterioração das regiões amorfais, tanto da celulose quanto das polioses.

Embora os efeitos da podridão branca na estrutura cristalina da celulose sejam menos investigados (HOWELL *et al.*, 2009), observou-se no presente estudo que para a madeira de

Cariniana micrantha a intensidade relativa de I_{1430}/I_{1900} foi correlacionada negativamente com o período de apodrecimento, ocorrendo redução da cristalinidade da celulose. Já para as madeiras de *Simarouba amara* e *Dipteryx odorata* verificou-se comportamento distinto, em que a correlação foi positiva, sendo que apenas para a segunda espécie tal resultado foi significativo. Apesar das diferenças entre as madeiras atacadas pela podridão branca pode-se constatar que, de modo geral, as alterações na intensidade relativa de I_{1430}/I_{1900} foram mínimas. De acordo com Ohkoshi *et al.* (1999) e Oliveira *et al.* (1986) esse resultado é característico do ataque causado pela podridão branca, em que o fungo deteriora de forma indiferenciada as zonas amorfas e cristalinas, por vezes, podendo apresentar uma pequena redução da cristalinidade.

Outro ponto que mereceu destaque foi a intensidade relativa de I_{1240}/I_{1270} , a qual representa a relação entre as ligninas siringil/guaiacil, em que constatou-se correlação negativa, de modo significativo, para as madeiras atacadas pelo fungo de podridão parda. Solár *et al.* (2007), ao submeterem amostras de *Fagus sylvatica* ao ataque de *Coniophora puteana* descreveram resultado semelhante, ao evidenciarem o decréscimo da lignina siringil em comparação a lignina guaiacil.

Mora; Encinas (2006) mencionam que de fato a lignina do tipo guaiacil (I_{1270}) confere maior resistência a biodeterioração da parede celular em comparação a lignina do tipo siringil (I_{1240}). Essa característica pode ser justificada em razão do número teórico de ligações intermonoméricas (NTLI) a qual varia de acordo com o tipo de lignina. De acordo com Abreu *et al.* (2003) a lignina guaiacil apresenta quase o dobro de NTLI quando confrontada com a lignina siringil, conferindo assim uma maior energia de ligação e, conseqüente estabilidade à deterioração por microrganismos fúngicos. Nesse sentido, pode-se afirmar que as enzimas fúngicas da podridão parda modificam, primeiramente, a lignina siringil para na seqüência deteriorarem a holocelulose.

Entretanto, quando analisado o ataque do fungo *Trametes versicolor*, verificou-se que apenas para a madeira de *Cariniana micrantha* a razão entre I_{1240}/I_{1270} foi correlacionada positivamente, de modo significativo, com o período de exposição. Segundo Highley (1982),

estudos têm demonstrado que apesar da capacidade de deteriorar a lignina, a taxa de ataque de fungos de podridão branca é afetada mais pelo tipo do que pela quantidade de lignina. No caso do presente estudo, é importante ressaltar que a banda de I_{1240} não está relacionada apenas a lignina siringil, mas também, parcialmente, ao teor de xilanas, comprovando assim a seletividade do *Trametes versicolor* à lignina. Além disso, pode-se afirmar que para as madeiras de marupá e cumarú, a ausência de correlação significativa pode evidenciar a indiferença quanto a deterioração do tipo de lignina pelo fungo *Trametes versicolor*.

Na Tabela 6.25 e Figuras 6.59 a 6.64 são apresentadas as matrizes de correlação e os modelos de predição, respectivamente, entre as modificações dos parâmetros químicos das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* e a perda de massa causada pela exposição aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

De acordo com Schmidt (2006) a complexa ultraestrutura da parede celular, quanto a sua constituição química, associada aos diferentes mecanismos enzimáticos dos fungos apodrecedores, está diretamente relacionada com a perda de massa. Nesse sentido, pode-se constatar que os resultados expostos foram satisfatórios, visto que, com exceção da madeira de cumarú atacada por podridão branca, a intensidade de diferentes bandas apresentaram correlações significativas com as perdas de massa.

Entretanto, ao estabelecer um comparativo entre as perdas de massa e as alterações dos parâmetros químicos verificou-se comportamentos distintos em razão do fungo apodrecedor.

Para as madeiras atacadas pelo *Gloeophyllum trabeum*, as alterações dos parâmetros químicos, monitoradas por espectroscopia no infravermelho, foram mais sensíveis, sendo dessa forma indicadas para avaliação da biodeterioração, conforme preconizado por Pandey (1999); Pandey; Theagarjan (1997).

Ao considerar apenas a banda de 900 cm^{-1} , foi possível constatar que a partir da 2-3ª semana o decréscimo nas intensidades da banda relacionada à celulose foram superiores a 50%, enquanto que nesse período as perdas de massa causada pelo *Gloeophyllum trabeum* foram

próximas a 0, 6 e 19%, cumarú, jequitibá e marupá, respectivamente. Com relação às bandas associadas a holocelulose (1170, 1135 e 1090 cm^{-1}), observou-se que na 3ª semana de exposição o fungo de podridão parda proporcionou um decréscimo na intensidade das mesmas entre 20-23% (marupá), 16-25% (jequitibá) e 27-41% (cumarú). Apesar da menor magnitude de redução em relação a banda em 900 cm^{-1} , verificou-se que as bandas do *fingerprint* entre 1200 a 900 cm^{-1} foram sensíveis a deterioração, em especial nos estágios iniciais.

Tabela 6.25 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e a perda de massa das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

λ (cm^{-1})	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	PM - TV	PM - GT	PM - TV	PM - GT	PM - TV	PM - GT
900	- 0,63 (0,02*)	- 0,85 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	- 0,80 (<0,01**)	- 0,48 (0,10 ^{NS})	- 0,63 (0,02*)
1090	- 0,005 (0,99 ^{NS})	- 0,95 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	- 0,93 (<0,01**)	- 0,08 (0,78 ^{NS})	- 0,50 (0,08 ^{NS})
1135	- 0,43 (0,14 ^{NS})	- 0,97 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	- 0,92 (<0,01**)	- 0,49 (0,09 ^{NS})	- 0,54 (0,05 ^{NS})
1170	- 0,61 (0,03*)	- 0,97 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	- 0,92 (<0,01**)	- 0,56 (0,04*)	- 0,58 (0,04*)
1240	- 0,67 (0,01*)	- 0,96 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	- 0,91 (<0,01**)	- 0,29 (0,34 ^{NS})	- 0,10 (0,75 ^{NS})
1270	- 0,77 (<0,01**)	- 0,96 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	- 0,88 (<0,01**)	- 0,33 (0,27 ^{NS})	0,19 (0,54 ^{NS})
1330	- 0,35 (0,25 ^{NS})	- 0,94 (<0,01**)	0,92 (<0,01**)	- 0,88 (<0,01**)	- 0,26 (0,38 ^{NS})	0,40 (0,17 ^{NS})
1375	- 0,44 (0,13 ^{NS})	- 0,94 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	- 0,89 (<0,01**)	- 0,29 (0,33 ^{NS})	0,54 (0,06 ^{NS})
1428	- 0,50 (0,08 ^{NS})	- 0,92 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	- 0,82 (<0,01**)	- 0,21 (0,50 ^{NS})	0,64 (0,02*)
1460	- 0,76 (<0,01**)	- 0,87 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	- 0,73 (<0,01**)	- 0,35 (0,24 ^{NS})	0,81 (<0,01**)
1510	- 0,88 (<0,01**)	- 0,81 (<0,01**)	0,80 (<0,01**)	- 0,41 (0,16 ^{NS})	- 0,38 (0,20 ^{NS})	0,88 (<0,01**)
1600	- 0,11 (0,72 ^{NS})	- 0,52 (0,07 ^{NS})	0,85 (<0,01**)	- 0,24 (0,42 ^{NS})	0,20 (0,50 ^{NS})	0,92 (<0,01**)
1735	0,08 (0,78 ^{NS})	0,18 (0,56 ^{NS})	0,77 (<0,01**)	0,53 (0,06 ^{NS})	- 0,46 (0,11 ^{NS})	0,95 (<0,01**)

Em que: PM - TV= perda de massa causada pelo fungo de podridão branca; PM - GT= perda de massa causada pelo fungo de podridão parda; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

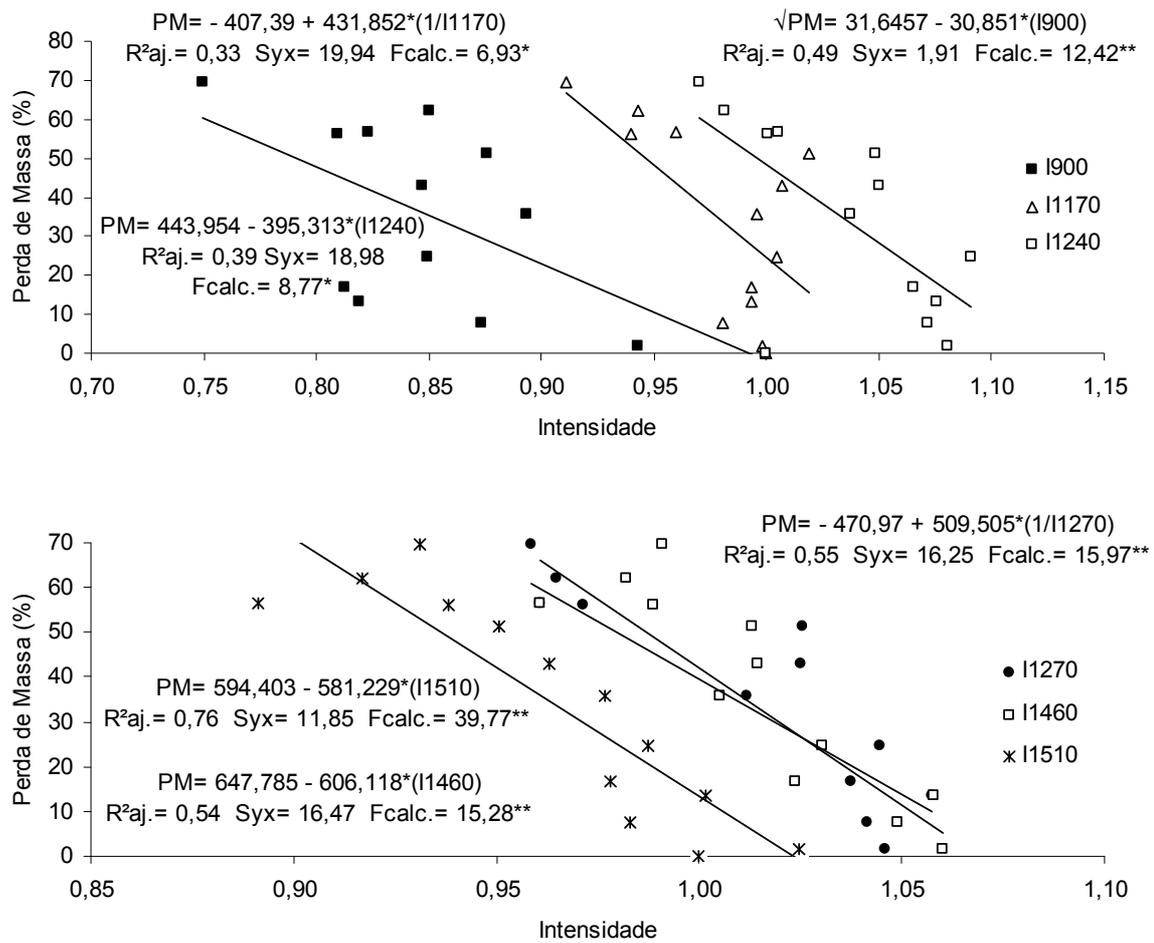


Figura 6.59 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Simarouba amara* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

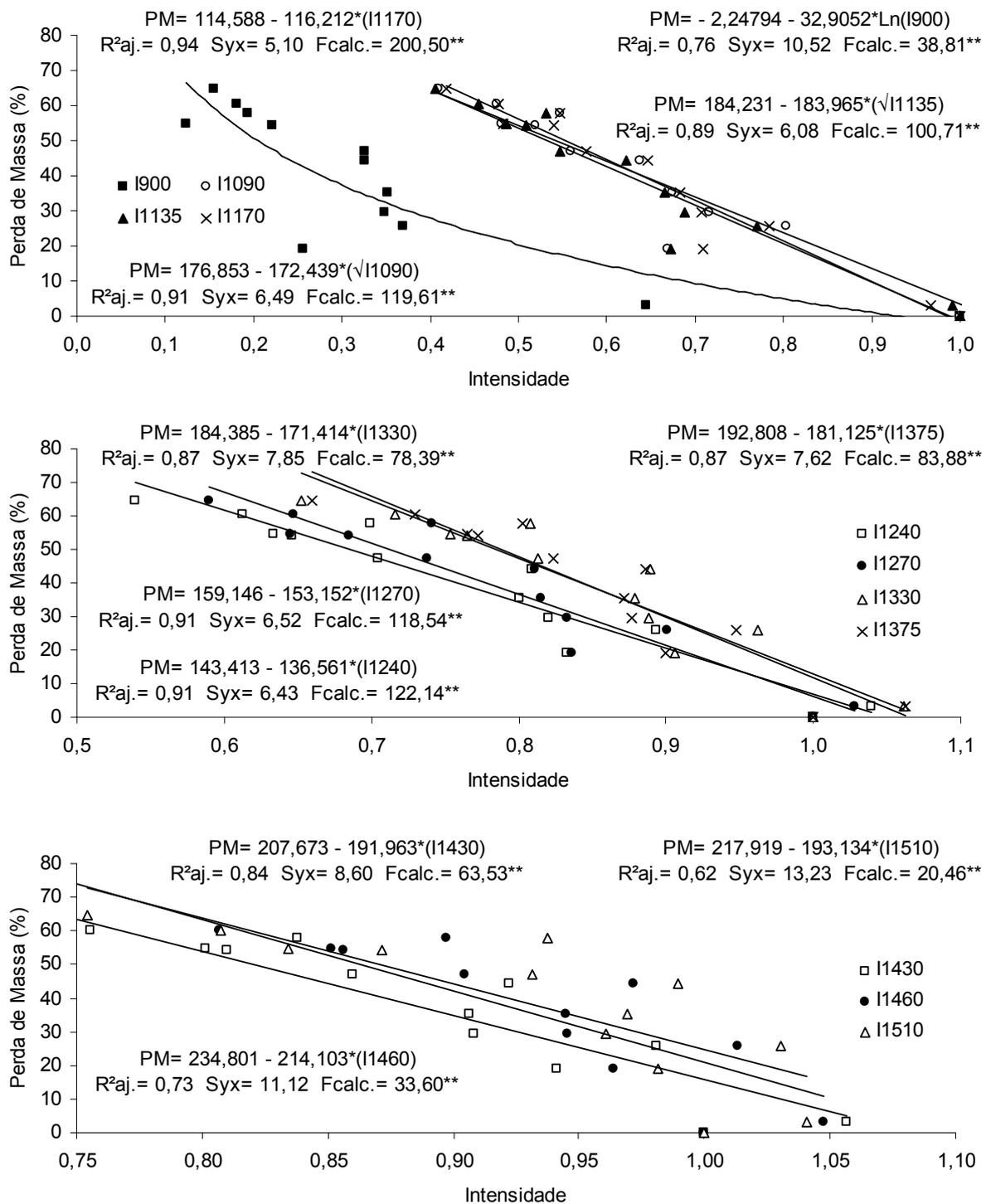


Figura 6.60 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Simarouba amara* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

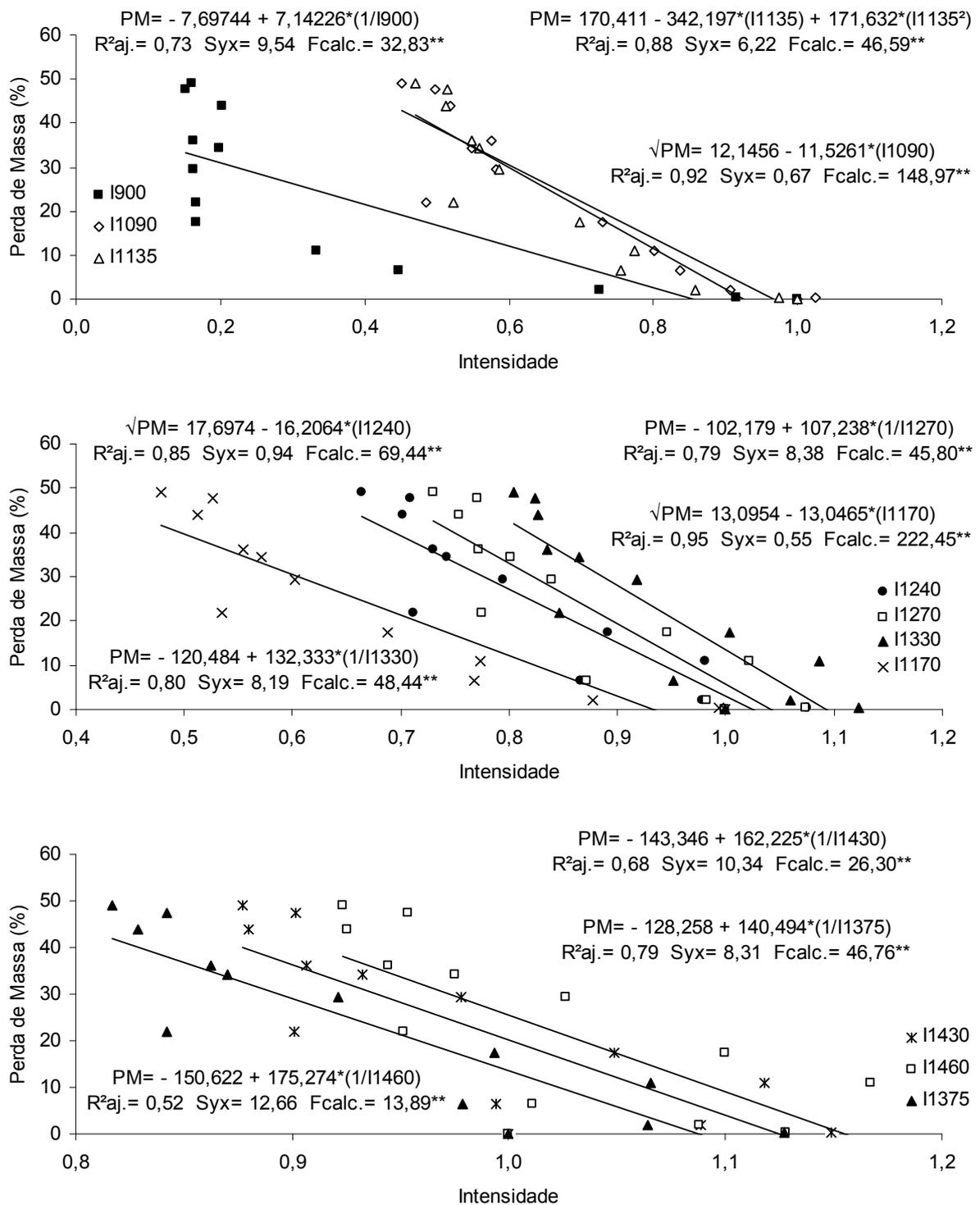


Figura 6.61 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

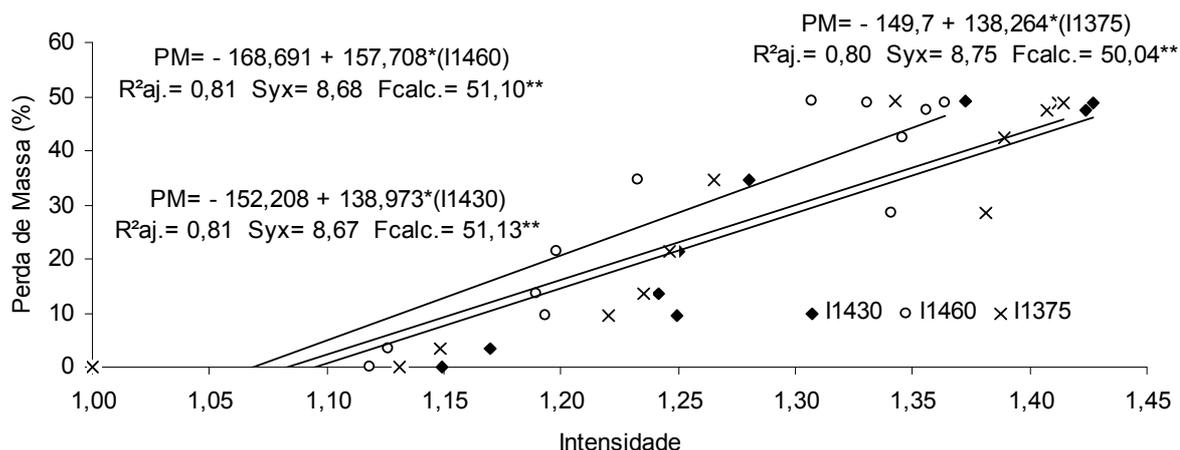
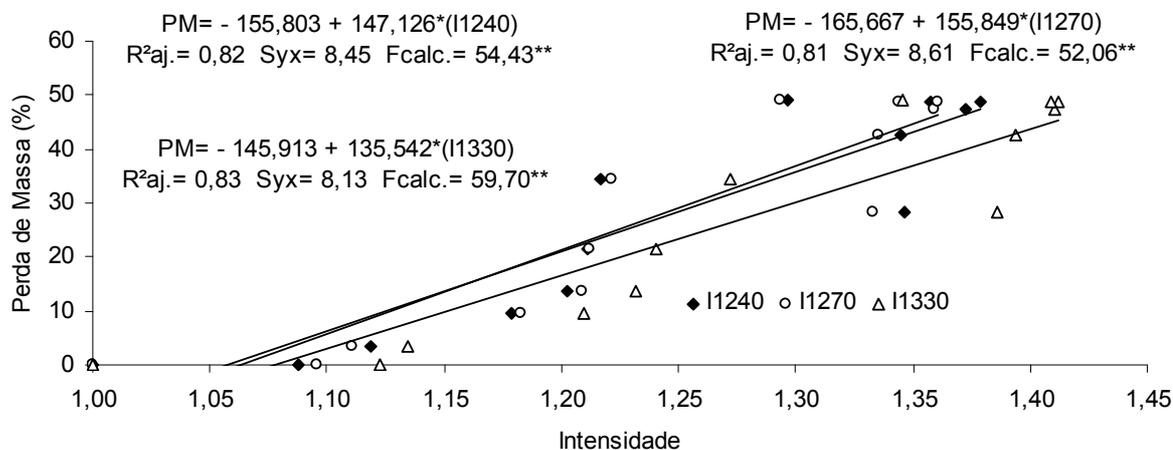
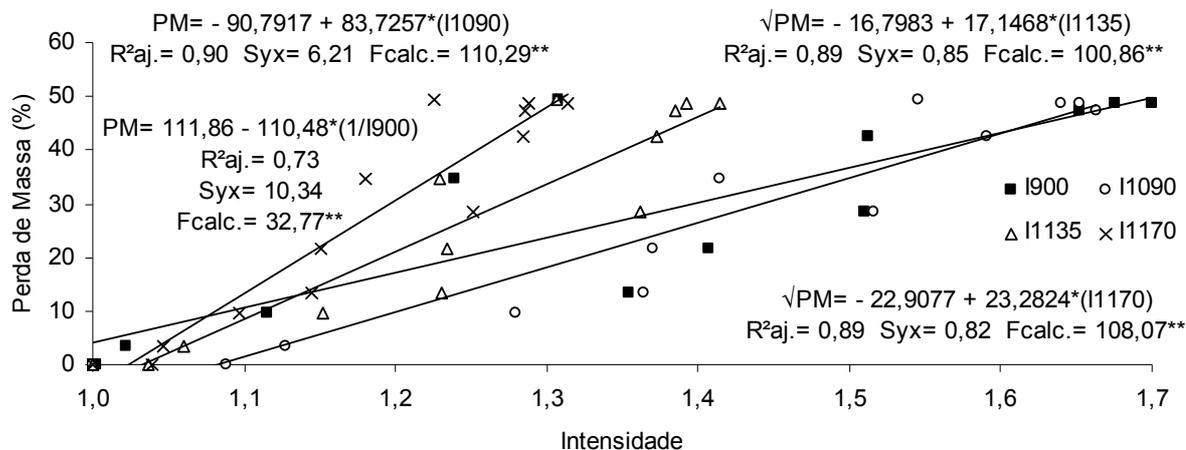


Figura 6.62 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

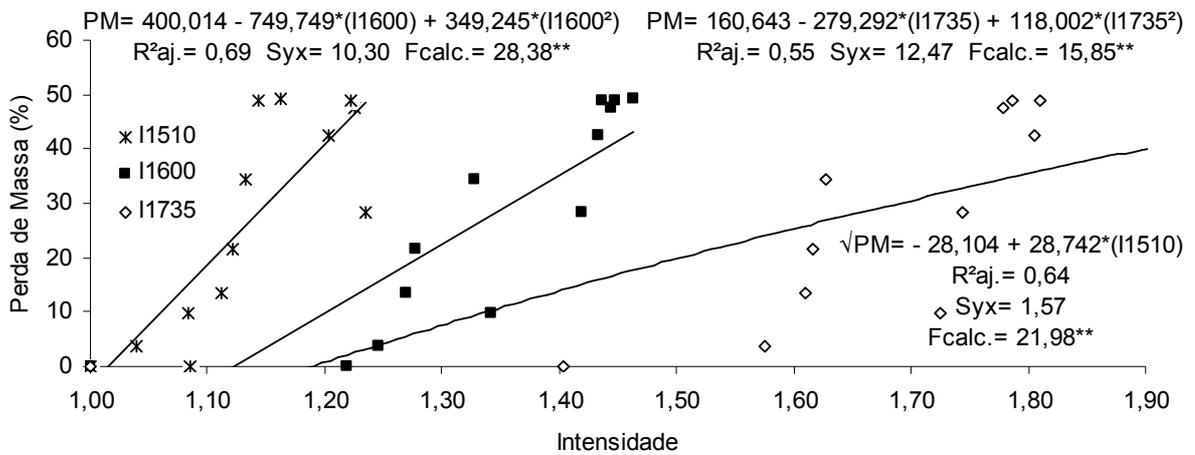


Figura 6.62 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

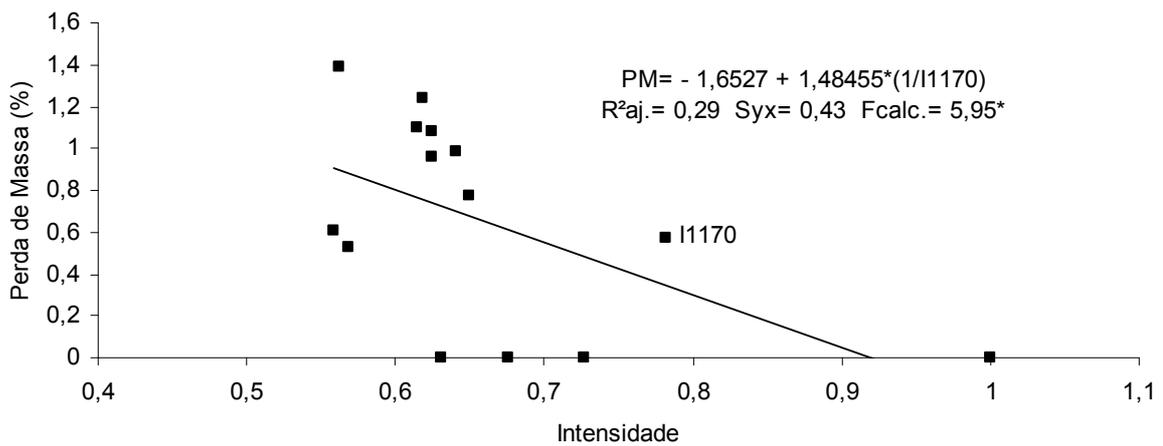


Figura 6.63 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Dipteryx odorata* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão branca.

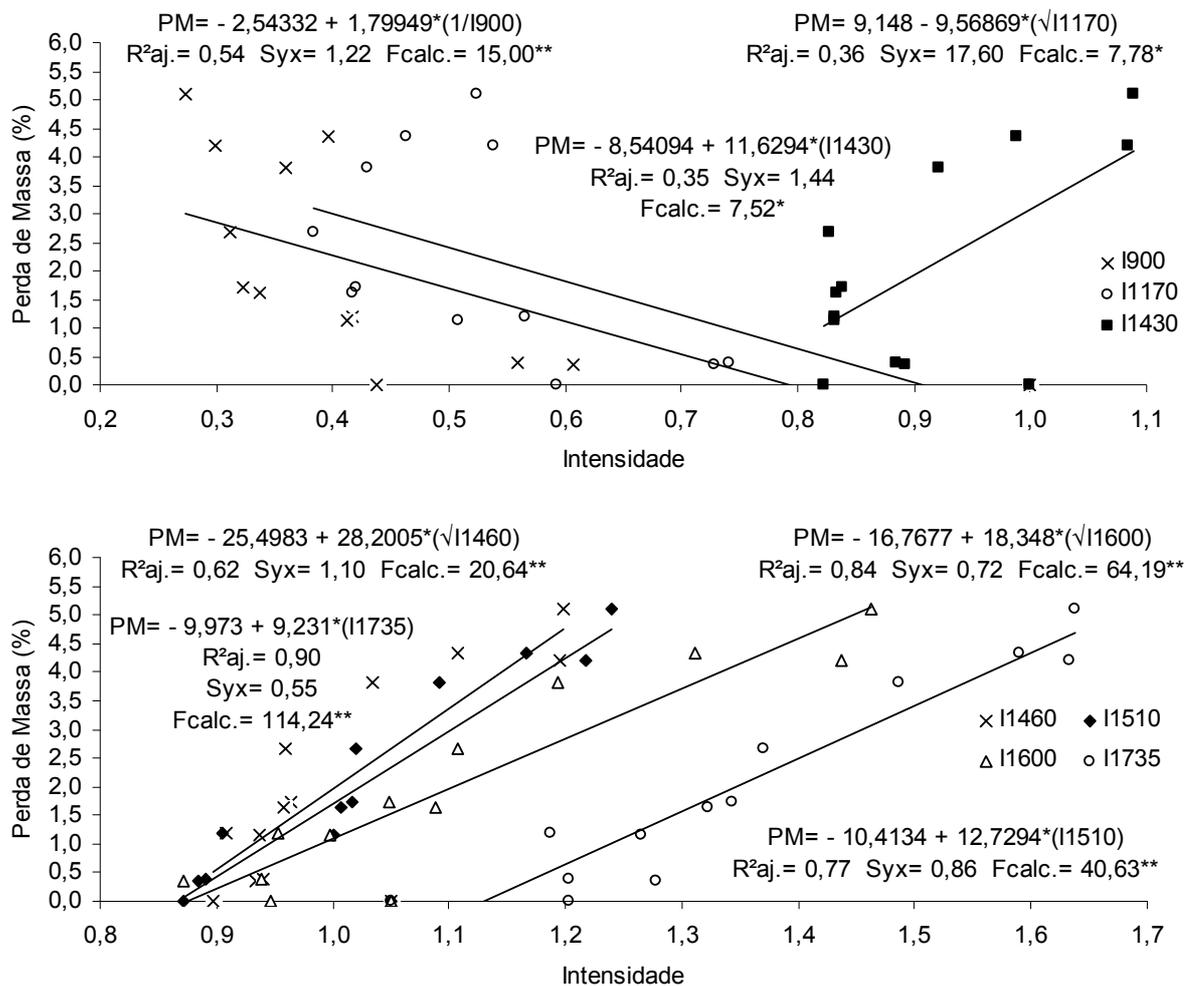


Figura 6.64 Modelos estatísticos gerados para a predição da perda de massa da madeira de *Dipteryx odorata* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos tempo de exposição ao fungo de podridão parda.

A correlação significativa, de modo negativo, entre a perda de massa proporcionada pela podridão parda e as alterações na intensidade das bandas relacionadas aos carboidratos, verificadas no presente estudo, corroboram com os resultados expostos por Kelley *et al.* (2002).

Ao analisar o ataque proporcionado pelo *Trametes versicolor* verificou-se que para a madeira de *Simarouba amara* as alterações nos parâmetros químicos foram menos sensíveis para indicação da deterioração em comparação as perdas de massa. Faix *et al.* (1991) citaram que após 14 semanas de exposição ao mesmo fungo, a madeira de *Fagus sylvatica* apresentou

perda de massa de, aproximadamente, 51%, no entanto as alterações dos parâmetros químicos foram mínimas. Entretanto, é importante salientar que se verificaram correlações significativas entre a perda de massa e bandas relacionadas aos carboidratos (1170 e 900 cm^{-1}) e lignina (1510, 1460, 1270 e 1240 cm^{-1}). Ao considerar a madeira de *Dipteryx odorata*, verificou-se que todas as bandas do *fingerprint* entre 1800 a 900 cm^{-1} , exceto em 1735 cm^{-1} , apresentaram decréscimos na intensidade superior a perda de massa, porém apenas a banda em 1170 cm^{-1} , relacionada a holocelulose, apresentou correlação significativa com a durabilidade natural.

As matrizes de correlação entre os parâmetros químicos e os colorimétricos, das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*, modificados pela exposição aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* são apresentadas nas Tabelas 6.26 a 6.28. Adicionalmente, nas Figuras de 6.65 a 6.70 estão estabelecidos os modelos de predição da ΔE em função da intensidade dos parâmetros químicos.

Amusant *et al.* (2008); Kokutse *et al.* (2006) citaram que os parâmetros colorimétricos, de forma isolada, não podem ser considerados para predizer a durabilidade natural de uma determinada madeira, visto que os mesmos não possibilitam a obtenção de respostas químicas. Para tanto, Gierlinger *et al.* (2003) recomendaram a combinação de técnicas colorimétricas com a espectroscopia na região do infravermelho. Nesse sentido, pode-se observar no presente estudo resultados satisfatórios, visto que a intensidade de diferentes bandas, relacionadas a diferentes constituintes químicos, apresentaram correlações significativas com as alterações colorimétricas.

Tabela 6.26 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e os parâmetros colorimétricos da madeira de *Simarouba amara*, causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

<i>Trametes versicolor</i>													
	900 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1735 (cm ⁻¹)
L*	- 0,18 (0,56 ^{NS})	0,13 (0,66 ^{NS})	0,26 (0,39 ^{NS})	0,14 (0,64 ^{NS})	0,16 (0,61 ^{NS})	0,20 (0,52 ^{NS})	- 0,15 (0,61 ^{NS})	- 0,11 (0,71 ^{NS})	- 0,08 (0,79 ^{NS})	0,03 (0,91 ^{NS})	0,14 (0,64 ^{NS})	- 0,28 (0,36 ^{NS})	- 0,05 (0,86 ^{NS})
a*	- 0,70 (<0,01**)	0,24 (0,42 ^{NS})	- 0,24 (0,43 ^{NS})	- 0,50 (0,08 ^{NS})	- 0,41 (0,16 ^{NS})	- 0,58 (0,03*)	- 0,09 (0,78 ^{NS})	- 0,17 (0,57 ^{NS})	- 0,24 (0,43 ^{NS})	- 0,57 (0,04*)	- 0,81 (<0,01**)	0,13 (0,67 ^{NS})	0,33 (0,26 ^{NS})
b*	- 0,75 (<0,01**)	0,24 (0,42 ^{NS})	- 0,23 (0,45 ^{NS})	- 0,51 (0,07 ^{NS})	- 0,33 (0,27 ^{NS})	- 0,51 (0,08 ^{NS})	- 0,04 (0,89 ^{NS})	- 0,12 (0,69 ^{NS})	- 0,17 (0,58 ^{NS})	- 0,51 (0,07 ^{NS})	- 0,81 (<0,01**)	0,25 (0,41 ^{NS})	0,43 (0,14 ^{NS})
C	- 0,75 (<0,01**)	0,24 (0,42 ^{NS})	- 0,23 (0,45 ^{NS})	- 0,51 (0,07 ^{NS})	- 0,34 (0,25 ^{NS})	- 0,52 (0,07 ^{NS})	- 0,05 (0,87 ^{NS})	- 0,13 (0,67 ^{NS})	- 0,18 (0,56 ^{NS})	- 0,53 (0,06 ^{NS})	- 0,82 (<0,01**)	0,24 (0,43 ^{NS})	0,42 (0,15 ^{NS})
h*	0,63 (0,02*)	- 0,33 (0,27 ^{NS})	0,14 (0,65 ^{NS})	0,39 (0,18 ^{NS})	0,34 (0,26 ^{NS})	0,50 (0,08 ^{NS})	0,02 (0,95 ^{NS})	0,09 (0,76 ^{NS})	0,17 (0,57 ^{NS})	0,49 (0,09 ^{NS})	0,69 (<0,01**)	- 0,09 (0,76 ^{NS})	- 0,32 (0,28 ^{NS})
ΔE	- 0,75 (<0,01**)	0,26 (0,39 ^{NS})	- 0,22 (0,46 ^{NS})	- 0,51 (0,07 ^{NS})	- 0,32 (0,28 ^{NS})	0,50 (0,08 ^{NS})	- 0,02 (0,95 ^{NS})	- 0,10 (0,75 ^{NS})	- 0,14 (0,65 ^{NS})	- 0,49 (0,09 ^{NS})	- 0,80 (<0,01**)	0,28 (0,35 ^{NS})	0,46 (0,11 ^{NS})
<i>Gloeophyllum trabeum</i>													
	900 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1735 (cm ⁻¹)
L*	0,92 (<0,01**)	0,95 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,97 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,81 (<0,01**)	0,73 (<0,01**)	0,40 (0,18 ^{NS})	- 0,32 (0,28 ^{NS})
a*	- 0,79 (<0,01**)	- 0,89 (<0,01**)	- 0,91 (<0,01**)	- 0,93 (<0,01**)	- 0,92 (<0,01**)	- 0,92 (<0,01**)	- 0,90 (<0,01**)	- 0,89 (<0,01**)	- 0,89 (<0,01**)	- 0,84 (<0,01**)	- 0,80 (<0,01**)	- 0,52 (0,07 ^{NS})	0,13 (0,68 ^{NS})
b*	0,21 (0,48 ^{NS})	0,44 (0,13 ^{NS})	0,46 (0,11 ^{NS})	0,47 (0,10 ^{NS})	0,54 (0,06 ^{NS})	0,50 (0,08 ^{NS})	0,58 (0,04*)	0,57 (0,04*)	0,60 (0,03*)	0,62 (0,02*)	0,58 (0,01*)	0,66 (0,01*)	0,28 (0,36 ^{NS})
C	- 0,02 (0,94 ^{NS})	0,20 (0,51 ^{NS})	0,22 (0,47 ^{NS})	0,22 (0,46 ^{NS})	0,30 (0,3 ^{NS})	0,26 (0,39 ^{NS})	0,35 (0,24 ^{NS})	0,34 (0,25 ^{NS})	0,39 (0,19 ^{NS})	0,42 (0,15 ^{NS})	0,38 (0,19 ^{NS})	0,57 (0,04*)	0,35 (0,23 ^{NS})
h*	0,72 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,89 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,90 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,82 (<0,01**)	0,62 (0,02*)	- 0,03 (0,93 ^{NS})
ΔE	- 0,92 (<0,01**)	- 0,95 (<0,01**)	- 0,97 (<0,01**)	- 0,97 (<0,01**)	- 0,94 (<0,01**)	- 0,93 (<0,01**)	- 0,90 (<0,01**)	- 0,91 (<0,01**)	- 0,87 (<0,01**)	- 0,81 (<0,01**)	- 0,73 (<0,01**)	- 0,40 (0,18 ^{NS})	0,32 (0,29 ^{NS})

Em que: L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b* coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; ΔE= variação total da cor; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Tabela 6.27 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e os parâmetros colorimétricos da madeira de *Cariniana micrantha* causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

		<i>Trametes versicolor</i>												
		900	1090	1135	1170	1240	1270	1330	1375	1430	1460	1510	1600	1735
		(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)
L*		0,90	0,92	0,92	0,91	0,89	0,90	0,89	0,90	0,87	0,87	0,76	0,80	0,80
		(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)
a*		- 0,23	- 0,17	- 0,22	- 0,17	- 0,16	- 0,19	- 0,16	- 0,18	- 0,12	- 0,15	- 0,16	- 0,10	- 0,20
		(0,46 ^{NS})	(0,58 ^{NS})	(0,46 ^{NS})	(0,58 ^{NS})	(0,59 ^{NS})	(0,54 ^{NS})	(0,60 ^{NS})	(0,56 ^{NS})	(0,68 ^{NS})	(0,58 ^{NS})	(0,60 ^{NS})	(0,75 ^{NS})	(0,52 ^{NS})
b*		0,80	0,90	0,86	0,88	0,90	0,89	0,91	0,91	0,93	0,90	0,79	0,92	0,86
		(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)
C		0,78	0,88	0,84	0,86	0,88	0,87	0,89	0,89	0,91	0,88	0,77	0,90	0,83
		(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)
h*		0,76	0,84	0,84	0,82	0,85	0,87	0,86	0,88	0,88	0,86	0,77	0,88	0,91
		(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)
ΔE		0,90	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,95	0,94	0,83	0,91	0,88
		(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)
		<i>Gloeophyllum trabeum</i>												
		900	1090	1135	1170	1240	1270	1330	1375	1430	1460	1510	1600	1735
		(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)
L*		0,88	0,97	0,97	0,97	0,94	0,91	0,87	0,89	0,81	0,69	0,34	0,13	- 0,66
		(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,26 ^{NS})	(0,66 ^{NS})	(0,01*)
a*		0,21	0,45	0,42	0,42	0,57	0,60	0,69	0,65	0,70	0,76	0,73	0,71	0,16
		(0,49 ^{NS})	(0,13 ^{NS})	(0,15 ^{NS})	(0,15 ^{NS})	(0,04*)	(0,03*)	(<0,01**)	(0,02*)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,61 ^{NS})
b*		0,36	0,62	0,56	0,57	0,69	0,69	0,79	0,79	0,80	0,81	0,63	0,67	0,07
		(0,22 ^{NS})	(0,02*)	(0,04*)	(0,04*)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,02*)	(0,01*)	(0,81 ^{NS})
C		0,35	0,61	0,55	0,56	0,69	0,69	0,79	0,78	0,80	0,82	0,64	0,69	0,09
		(0,24 ^{NS})	(0,03*)	(0,05*)	(0,05*)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,02*)	(<0,01**)	(0,78 ^{NS})
h*		0,43	0,66	0,59	0,61	0,69	0,66	0,75	0,77	0,75	0,71	0,44	0,52	- 0,02
		(0,15 ^{NS})	(0,01*)	(0,03*)	(0,03*)	(<0,01**)	(0,01*)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,13 ^{NS})	(0,07 ^{NS})	(0,94 ^{NS})
ΔE		- 0,88	- 0,95	- 0,96	- 0,96	- 0,91	- 0,88	- 0,83	- 0,84	- 0,75	- 0,63	- 0,30	- 0,05	0,72
		(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(<0,01**)	(0,02*)	(0,32 ^{NS})	(0,87 ^{NS})	(<0,01**)

Em que: L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b* coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; ΔE= variação total da cor; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

Tabela 6.28 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e os parâmetros colorimétricos da madeira de *Dipteryx odorata* causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

<i>Trametes versicolor</i>													
	900 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1735 (cm ⁻¹)
L*	0,62 (0,02*)	0,59 (0,03*)	0,55 (0,05 ^{NS})	0,55 (0,05 ^{NS})	0,62 (0,02*)	0,63 (0,02*)	0,60 (0,03*)	0,59 (0,03*)	0,66 (0,01*)	0,64 (0,02*)	0,58 (0,04*)	0,41 (0,17 ^{NS})	- 0,04 (0,90 ^{NS})
a*	- 0,04 (0,90 ^{NS})	- 0,28 (0,36 ^{NS})	- 0,07 (0,82 ^{NS})	- 0,05 (0,87 ^{NS})	- 0,21 (0,50 ^{NS})	- 0,21 (0,48 ^{NS})	- 0,21 (0,50 ^{NS})	- 0,26 (0,38 ^{NS})	- 0,29 (0,33 ^{NS})	- 0,24 (0,43 ^{NS})	- 0,11 (0,72 ^{NS})	- 0,20 (0,52 ^{NS})	- 0,54 (0,06 ^{NS})
b*	- 0,57 (0,04*)	- 0,12 (0,70 ^{NS})	- 0,60 (0,03*)	- 0,64 (0,02*)	- 0,36 (0,22 ^{NS})	- 0,39 (0,19 ^{NS})	- 0,38 (0,20 ^{NS})	- 0,40 (0,17 ^{NS})	- 0,27 (0,37 ^{NS})	- 0,41 (0,17 ^{NS})	- 0,46 (0,12 ^{NS})	0,13 (0,68 ^{NS})	- 0,63 (0,02*)
C	- 0,59 (0,03*)	- 0,17 (0,57 ^{NS})	- 0,63 (0,02*)	- 0,66 (0,01*)	- 0,41 (0,16 ^{NS})	- 0,44 (0,13 ^{NS})	- 0,43 (0,15 ^{NS})	- 0,46 (0,11 ^{NS})	- 0,33 (0,26 ^{NS})	- 0,46 (0,11 ^{NS})	- 0,48 (0,09 ^{NS})	0,10 (0,75 ^{NS})	0,52 (0,06 ^{NS})
h*	- 0,34 (0,25 ^{NS})	0,08 (0,79 ^{NS})	- 0,35 (0,24 ^{NS})	- 0,39 (0,19 ^{NS})	- 0,13 (0,68 ^{NS})	- 0,14 (0,66 ^{NS})	- 0,13 (0,66 ^{NS})	- 0,11 (0,71 ^{NS})	- 0,01 (0,97 ^{NS})	- 0,13 (0,66 ^{NS})	- 0,25 (0,40 ^{NS})	0,18 (0,55 ^{NS})	0,73 (<0,01**)
ΔE	- 0,73 (<0,01**)	- 0,63 (0,02*)	- 0,67 (0,01*)	- 0,68 (0,01*)	- 0,69 (<0,01**)	- 0,71 (<0,01**)	- 0,67 (0,01*)	- 0,67 (0,01*)	- 0,71 (<0,01**)	- 0,72 (<0,01**)	- 0,65 (0,02*)	- 0,39 (0,18 ^{NS})	0,15 (0,62 ^{NS})
<i>Gloeophyllum trabeum</i>													
	900 (cm ⁻¹)	1090 (cm ⁻¹)	1135 (cm ⁻¹)	1170 (cm ⁻¹)	1240 (cm ⁻¹)	1270 (cm ⁻¹)	1330 (cm ⁻¹)	1375 (cm ⁻¹)	1430 (cm ⁻¹)	1460 (cm ⁻¹)	1510 (cm ⁻¹)	1600 (cm ⁻¹)	1735 (cm ⁻¹)
L*	0,79 (<0,01**)	0,81 (<0,01**)	0,81 (<0,01**)	0,83 (<0,01**)	0,46 (0,11 ^{NS})	0,17 (0,58 ^{NS})	- 0,05 (0,86 ^{NS})	- 0,20 (0,52 ^{NS})	- 0,30 (0,31 ^{NS})	- 0,56 (0,05*)	- 0,76 (<0,01**)	- 0,78 (<0,01**)	- 0,86 (<0,01**)
a*	0,81 (<0,01**)	0,45 (0,12 ^{NS})	0,66 (0,01*)	0,66 (0,01*)	0,47 (0,11 ^{NS})	0,38 (0,20 ^{NS})	0,26 (0,40 ^{NS})	0,11 (0,73 ^{NS})	0,01 (0,97 ^{NS})	- 0,10 (0,75 ^{NS})	- 0,12 (0,70 ^{NS})	- 0,28 (0,35 ^{NS})	- 0,61 (0,03*)
b*	0,66 (0,01*)	0,73 (<0,01**)	0,69 (<0,01**)	0,72 (<0,01**)	0,32 (0,28 ^{NS})	0,02 (0,95 ^{NS})	- 0,20 (0,52 ^{NS})	- 0,32 (0,29 ^{NS})	- 0,41 (0,16 ^{NS})	- 0,66 (0,01*)	- 0,85 (<0,01**)	- 0,84 (<0,01**)	- 0,83 (<0,01**)
C	0,70 (<0,01**)	0,75 (<0,01**)	0,73 (<0,01**)	0,75 (<0,01**)	0,35 (0,23 ^{NS})	0,05 (0,87 ^{NS})	- 0,17 (0,59 ^{NS})	- 0,30 (0,32 ^{NS})	- 0,39 (0,18 ^{NS})	- 0,64 (0,02*)	- 0,83 (<0,01**)	- 0,83 (<0,01**)	- 0,85 (<0,01**)
h*	0,42 (0,15 ^{NS})	0,59 (0,03*)	0,49 (0,09 ^{NS})	0,51 (0,07 ^{NS})	0,14 (0,66 ^{NS})	- 0,16 (0,60 ^{NS})	- 0,35 (0,24 ^{NS})	- 0,44 (0,13 ^{NS})	- 0,51 (0,08 ^{NS})	- 0,72 (<0,01**)	- 0,89 (<0,01**)	- 0,83 (<0,01**)	- 0,72 (<0,01**)
ΔE	- 0,80 (<0,01**)	- 0,81 (<0,01**)	- 0,81 (<0,01**)	- 0,82 (<0,01**)	- 0,45 (0,12 ^{NS})	- 0,16 (0,60 ^{NS})	0,06 (0,85 ^{NS})	- 0,21 (0,49 ^{NS})	- 0,31 (0,29 ^{NS})	- 0,57 (0,04*)	0,75 (<0,01**)	0,78 (<0,01**)	0,88 (<0,01**)

Em que: L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b* coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; ΔE= variação total da cor; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

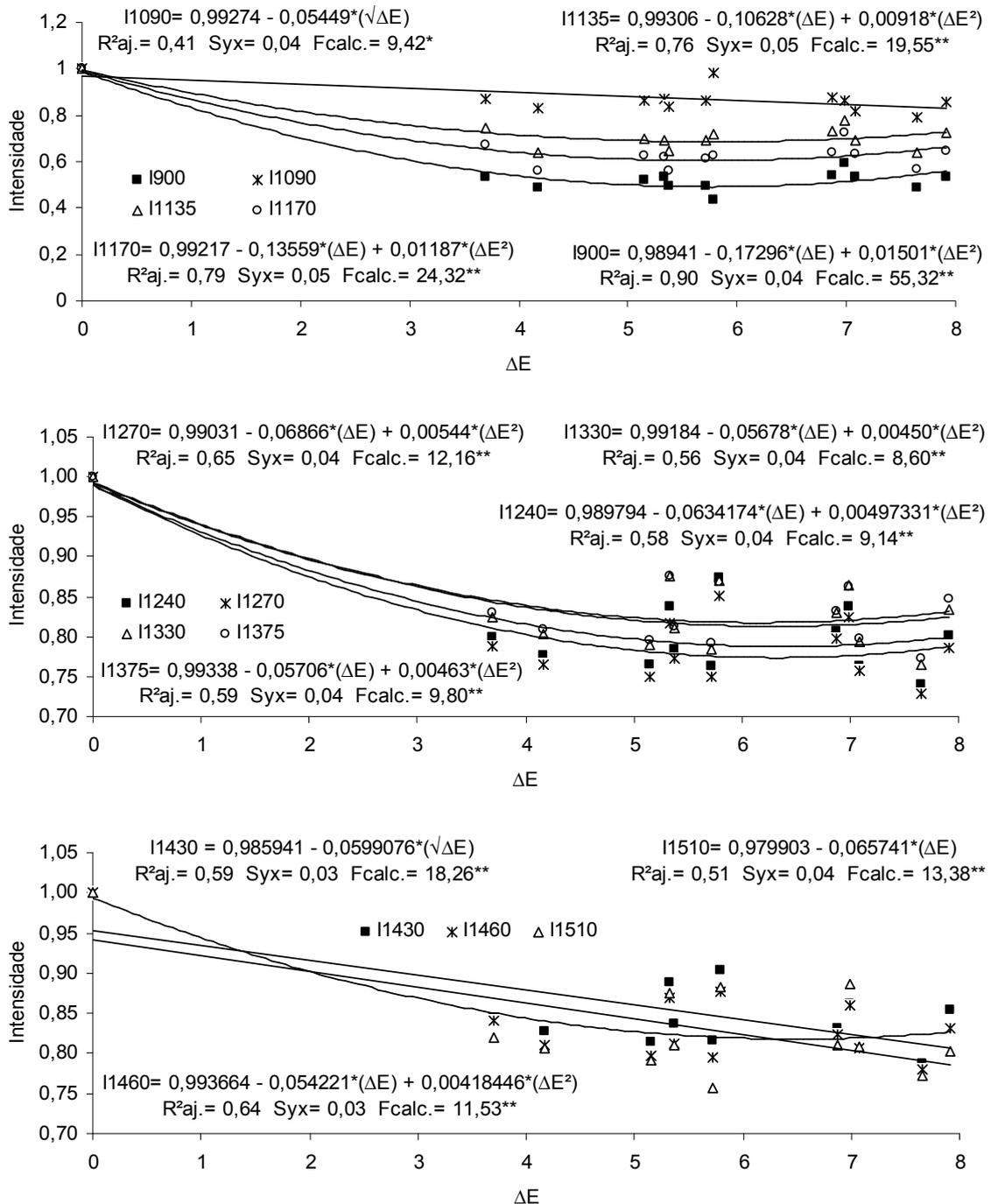


Figura 6.65 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão branca.

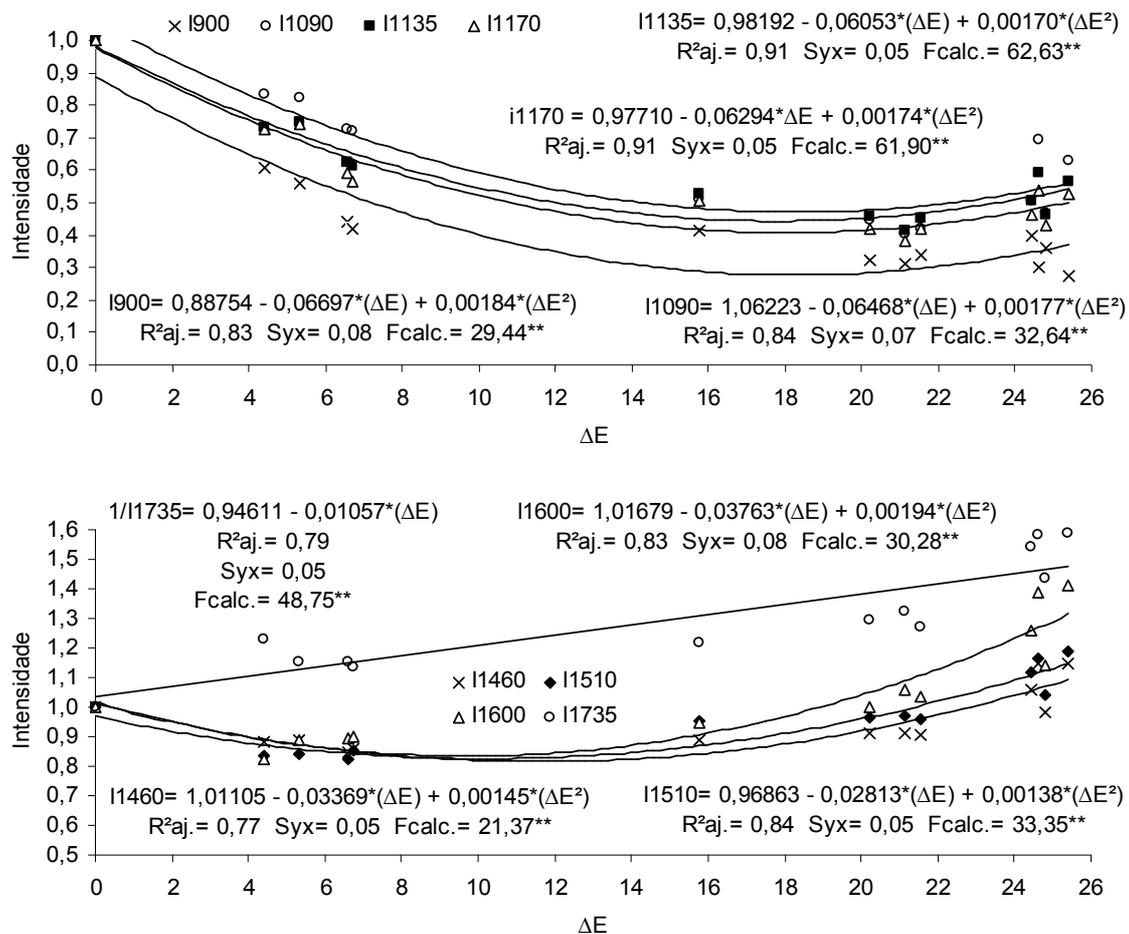


Figura 6.66 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão parda.

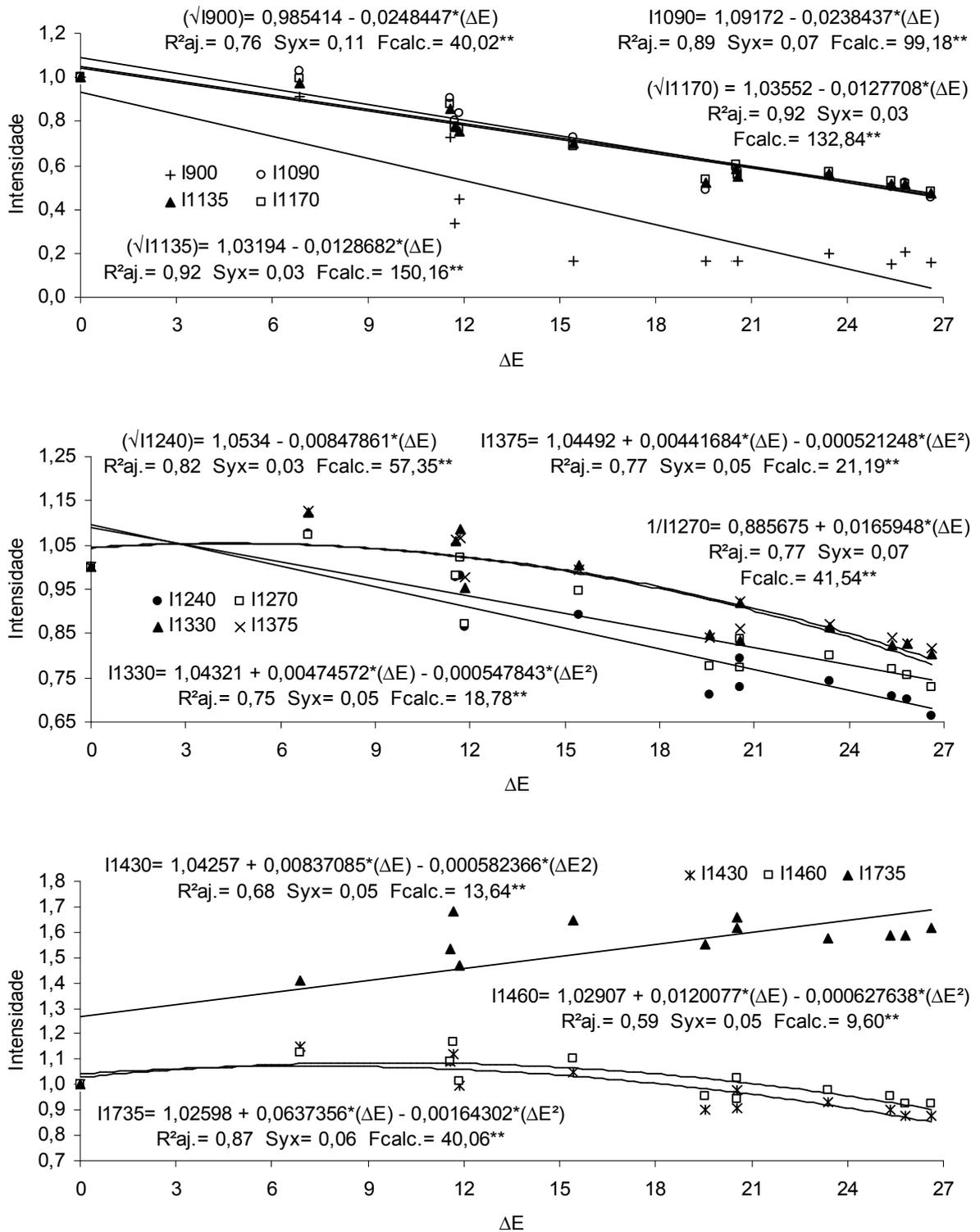


Figura 6.67 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão parda.

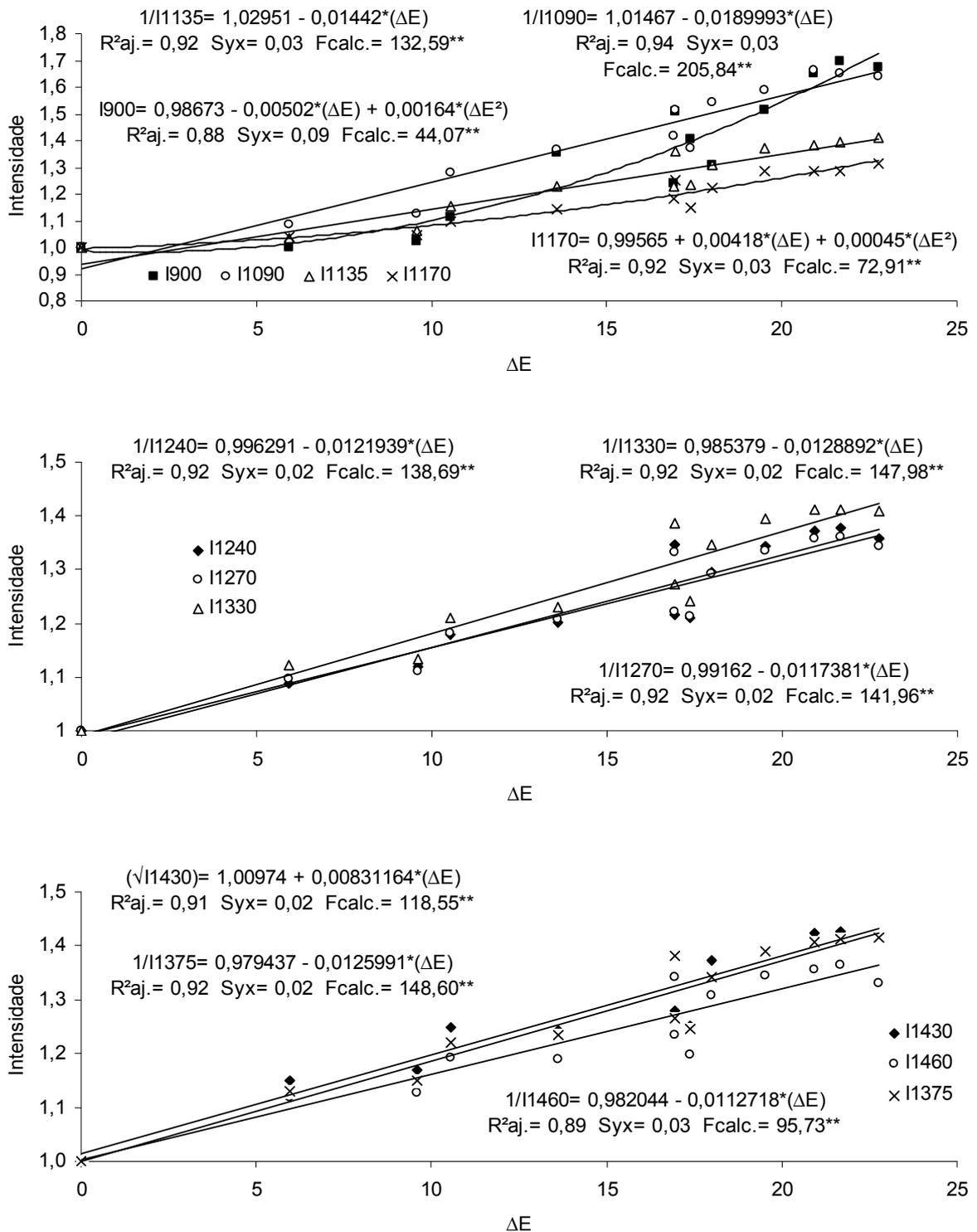


Figura 6.68 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão branca.

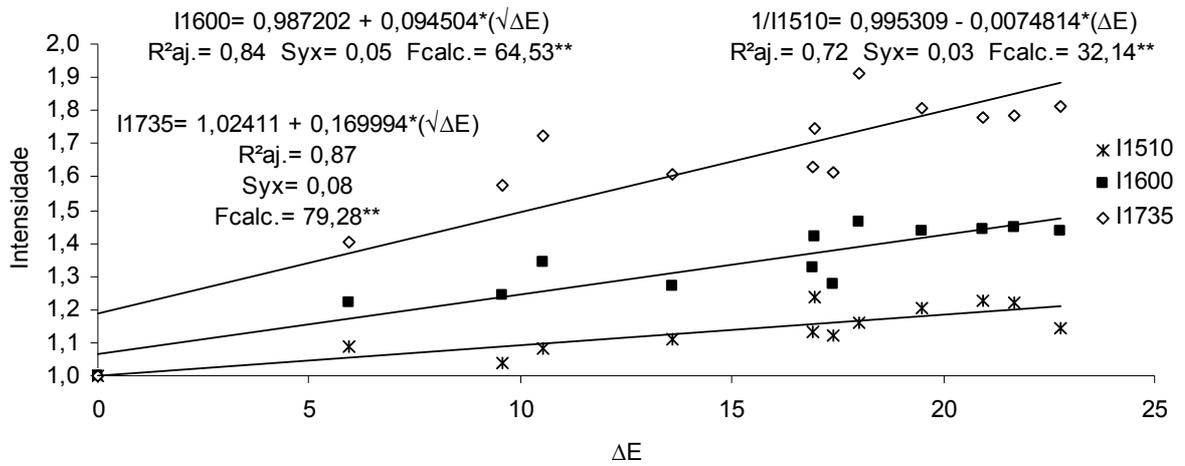


Figura 6.68 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão branca.

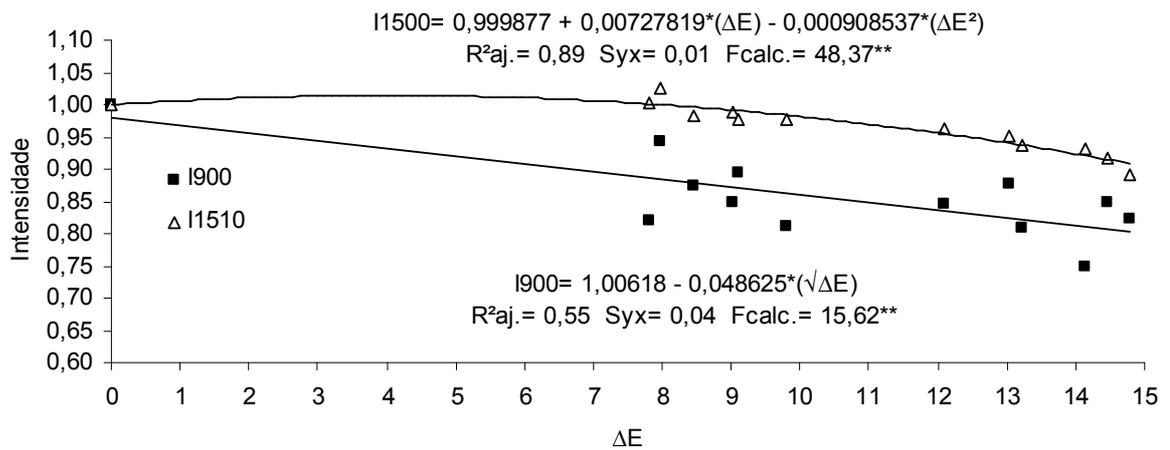


Figura 6.69 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão branca.

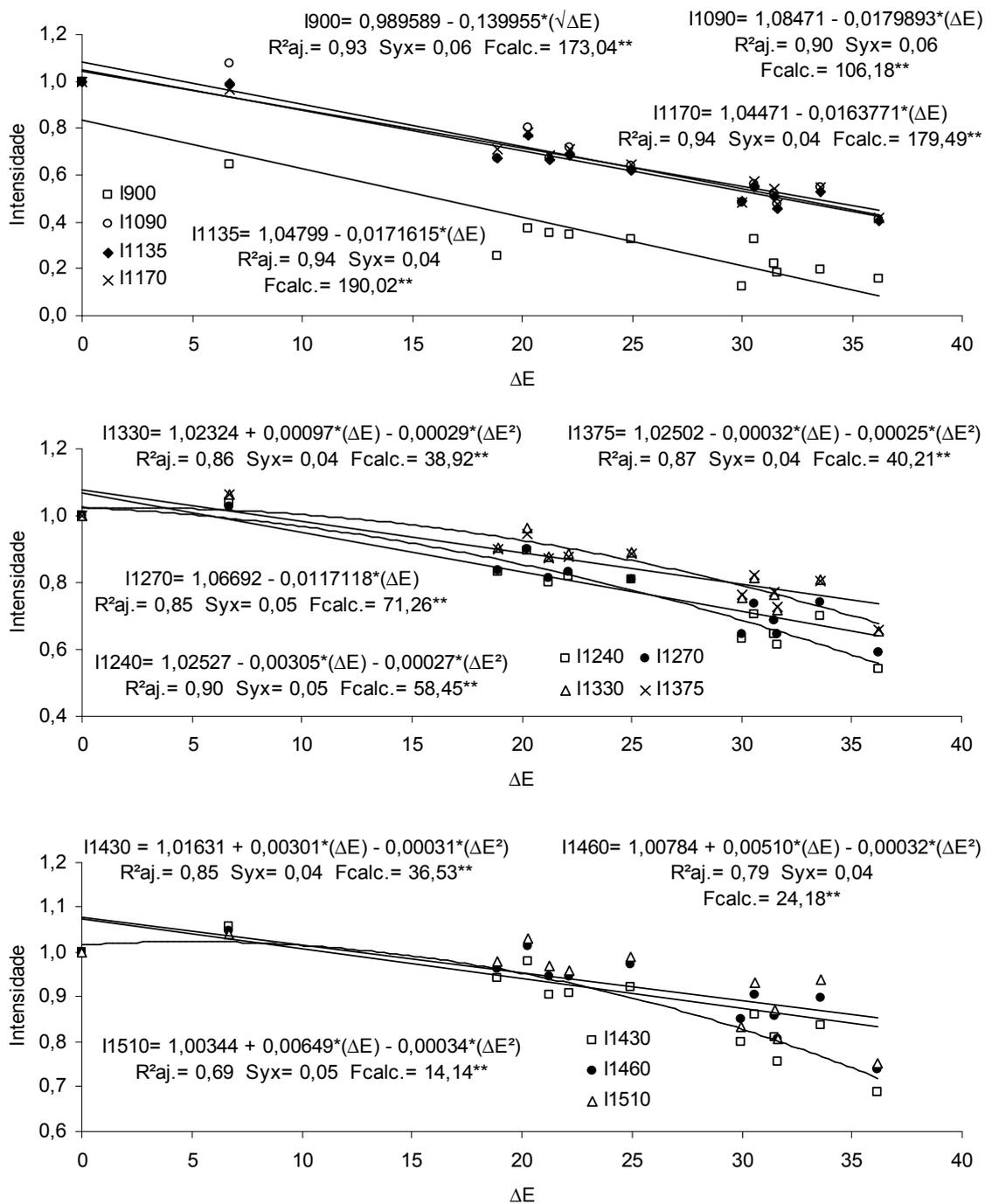


Figura 6.70 Modelos estatísticos gerados para a predição da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* em função da variação total da cor proporcionada pela exposição ao fungo de podridão parda.

Ao considerar a ΔE verificou-se que, de modo geral, as madeiras submetidas ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum* apresentaram melhores correlações com a intensidade de bandas relacionadas aos carboidratos, em especial, em 1170, 1135, 1090 e 900 cm^{-1} . Entretanto, apesar do mecanismo enzimático dos fungos de podridão parda, teoricamente, causarem a deterioração, apenas, da fração de carboidratos, mantendo a lignina residual intacta (EATON; HALE, 1993), verificou-se que a intensidade de bandas relacionadas a lignina também se correlacionam, de modo significativo, com a ΔE . De acordo com Solár *et al.* (2007) essa correlação pode ser explicada pela menor reflexão na região do comprimento de onda entre 360 a 750 nm, em especial na faixa próxima a 425-430 nm a qual, possivelmente, está relacionada à formação de grupos cromóforos na lignina durante o apodrecimento.

Já para as madeiras expostas ao *Trametes versicolor* verificaram-se baixas correlações entre as modificações nos parâmetros químicos e colorimétricos. Entretanto, ao considerar a ΔE , verificou-se que a mesma foi influenciada de modo indistinto pela deterioração dos carboidratos e da lignina.

A Tabela 6.29 e as Figuras 6.71 a 6.76 apresentam as correlações lineares e os modelos de predição entre as modificações dos parâmetros químicos e a perda de resistência mecânica das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas a exposição dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

Sandak *et al.* (2009) mencionam que ao considerar os ensaios de MIR são escassas as informações quanto às relações com ensaios mecânicos em madeira. No entanto, constatou-se no presente trabalho resultados satisfatórios, visto que, exceto para a madeira de cumarú atacada pela podridão branca, a intensidade de mais de uma banda apresentou correlação significativa com redução da dureza Rockwell proporcionada pela biodeterioração.

Howell (2006) mencionou que a despolimerização da celulose e polioses ocorre de modo mais acentuado que a capacidade de assimilação pelo fungo de podridão parda, de modo a proporcionar a extensiva perda de resistência mecânica antes da verificação de perda de massa significativa. Diante disso, verificou-se no presente estudo, ao considerar o ataque proporcionado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*, que o decréscimo na intensidade das bandas

relativas aos carboidratos (1430, 1375, 1330, 1170, 1135, 1090 e 900 cm^{-1}) apresentaram correlações significativas com as perdas de resistência mecânica das madeiras de marupá e jequitibá. Com relação à madeira de cumarú, atacada pelo mesmo fungo, pode-se perceber que apenas as bandas em 1170, 1135, 1090 e 900 cm^{-1} foram correlacionadas positivamente, de modo significativo, com a perda de resistência mecânica.

Tabela 6.29 Correlação entre as alterações dos parâmetros químicos e a dureza Rockwell das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

λ (cm^{-1})	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	HR - TV	HR - GT	HR - TV	HR - GT	HR - TV	HR - GT
900	0,66 (0,01*)	0,92 (<0,01**)	- 0,85 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	0,51 (0,07 ^{NS})	0,65 (0,02*)
1090	- 0,04 (0,90 ^{NS})	0,92 (<0,01**)	- 0,95 (<0,01**)	0,94 (<0,01**)	0,09 (0,77 ^{NS})	0,58 (0,04*)
1135	0,42 (0,16 ^{NS})	0,95 (<0,01**)	- 0,93 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,55 (0,05 ^{NS})	0,61 (0,03*)
1170	0,62 (0,02*)	0,96 (<0,01**)	- 0,95 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	0,57 (0,04*)	0,63 (0,02*)
1240	0,63 (0,02*)	0,93 (<0,01**)	- 0,91 (<0,01**)	0,91 (<0,01**)	0,27 (0,37 ^{NS})	0,19 (0,53 ^{NS})
1270	0,77 (<0,01**)	0,93 (<0,01**)	- 0,91 (<0,01**)	0,87 (<0,01**)	0,29 (0,34 ^{NS})	- 0,09 (0,76 ^{NS})
1330	0,32 (0,28 ^{NS})	0,90 (<0,01**)	- 0,93 (<0,01**)	0,85 (<0,01**)	0,27 (0,37 ^{NS})	- 0,29 (0,33 ^{NS})
1375	0,41 (0,16 ^{NS})	0,91 (<0,01**)	- 0,91 (<0,01**)	0,86 (<0,01**)	0,29 (0,34 ^{NS})	- 0,43 (0,14 ^{NS})
1428	0,49 (0,09 ^{NS})	0,89 (<0,01**)	- 0,90 (<0,01**)	0,78 (<0,01**)	0,13 (0,67 ^{NS})	- 0,53 (0,06 ^{NS})
1460	0,77 (<0,01**)	0,84 (<0,01**)	- 0,91 (<0,01**)	0,67 (0,02*)	0,28 (0,35 ^{NS})	- 0,73 (<0,01**)
1510	0,91 (<0,01**)	0,80 (<0,01**)	- 0,82 (<0,01**)	0,33 (0,27 ^{NS})	0,32 (0,29 ^{NS})	- 0,83 (<0,01**)
1600	0,08 (0,80 ^{NS})	0,46 (0,12 ^{NS})	- 0,85 (<0,01**)	0,17 (0,59 ^{NS})	- 0,12 (0,70 ^{NS})	- 0,87 (<0,01**)
1735	- 0,13 (0,68 ^{NS})	- 0,27 (0,38 ^{NS})	- 0,77 (<0,01**)	- 0,60 (0,03*)	- 0,74 (<0,01**)	- 0,89 (<0,01**)

Em que: HR - TV= dureza Rockwell da madeira atacada pelo fungo *Trametes versicolor*; HR - GT= dureza Rockwell da madeira atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

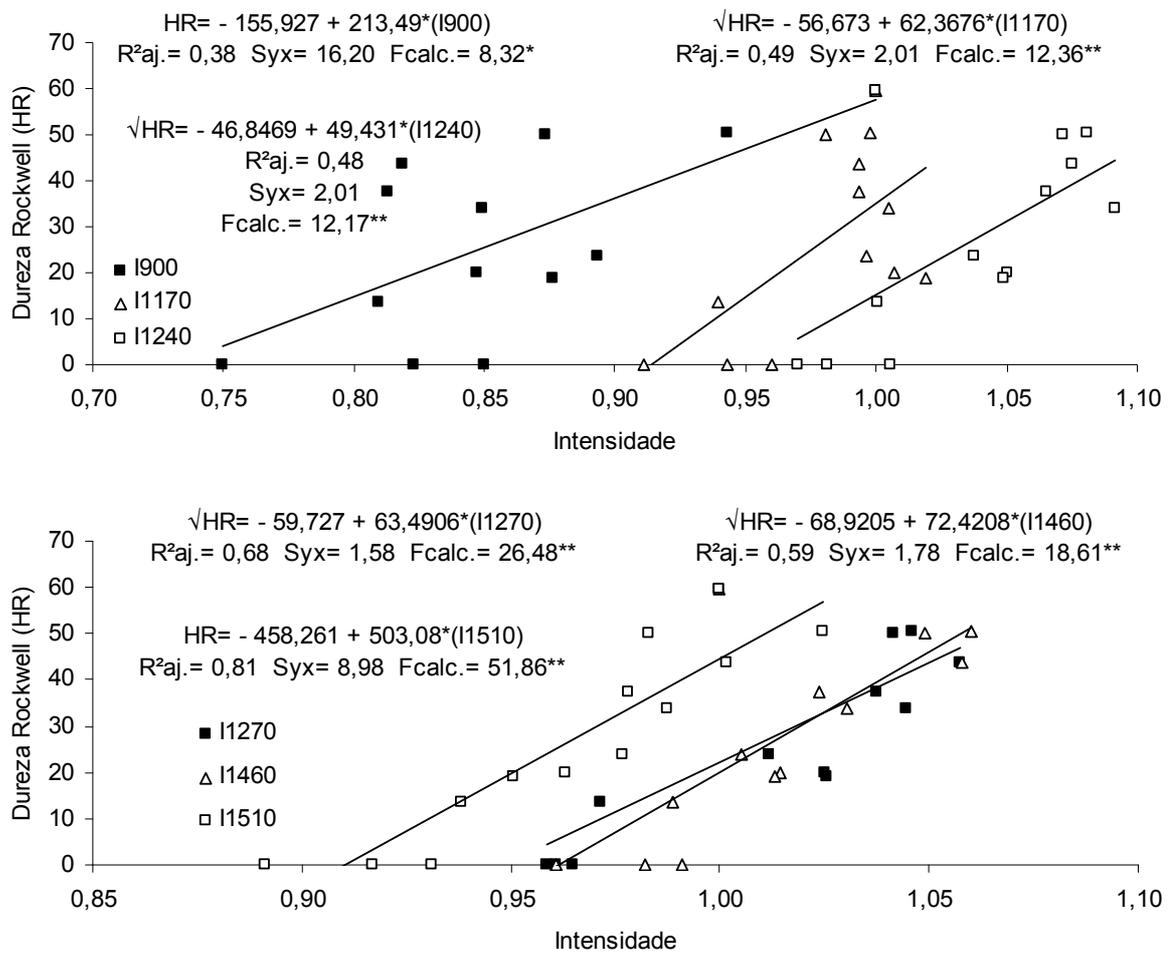


Figura 6.71 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Simarouba amara* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

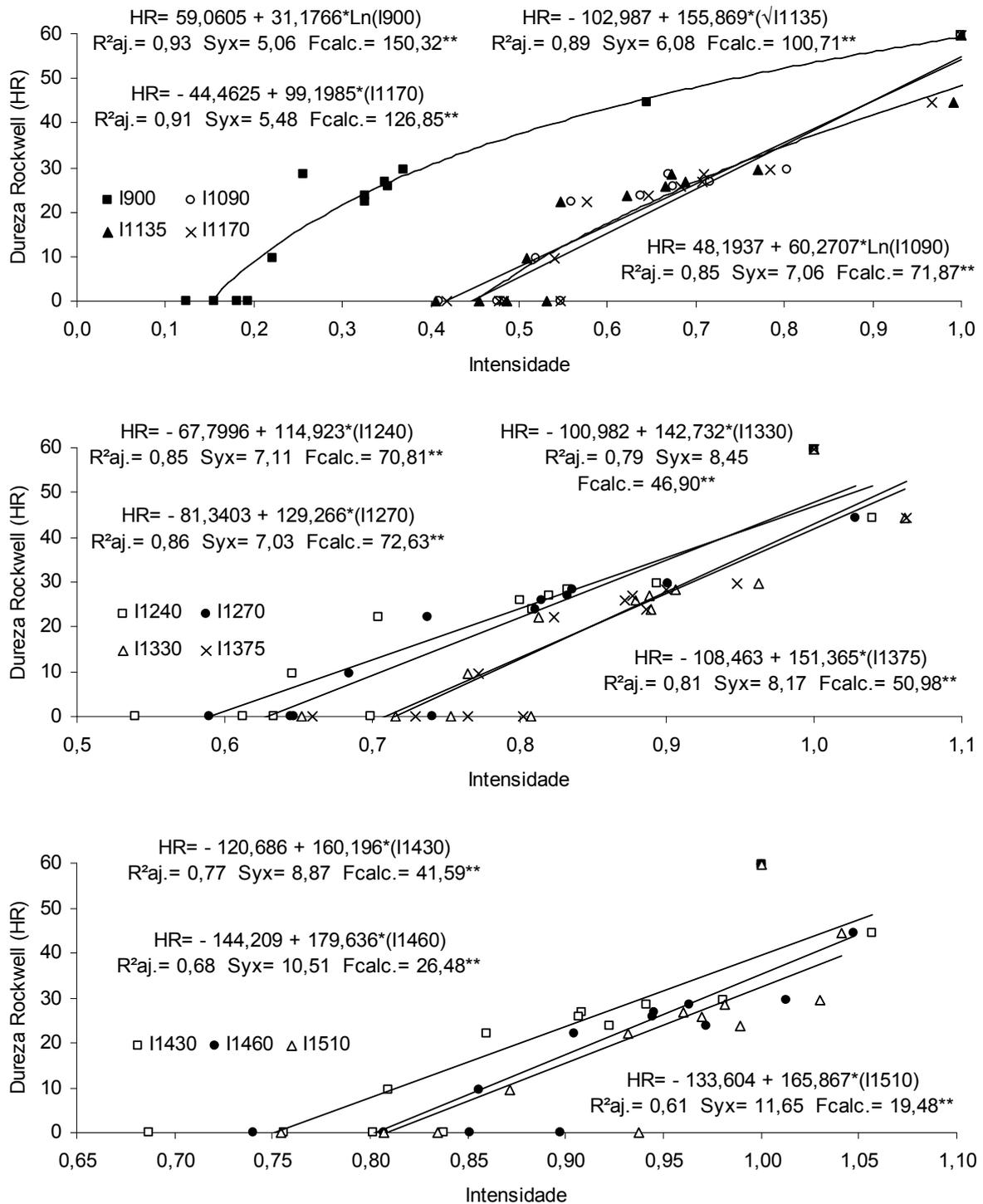


Figura 6.72 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Simarouba amara* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

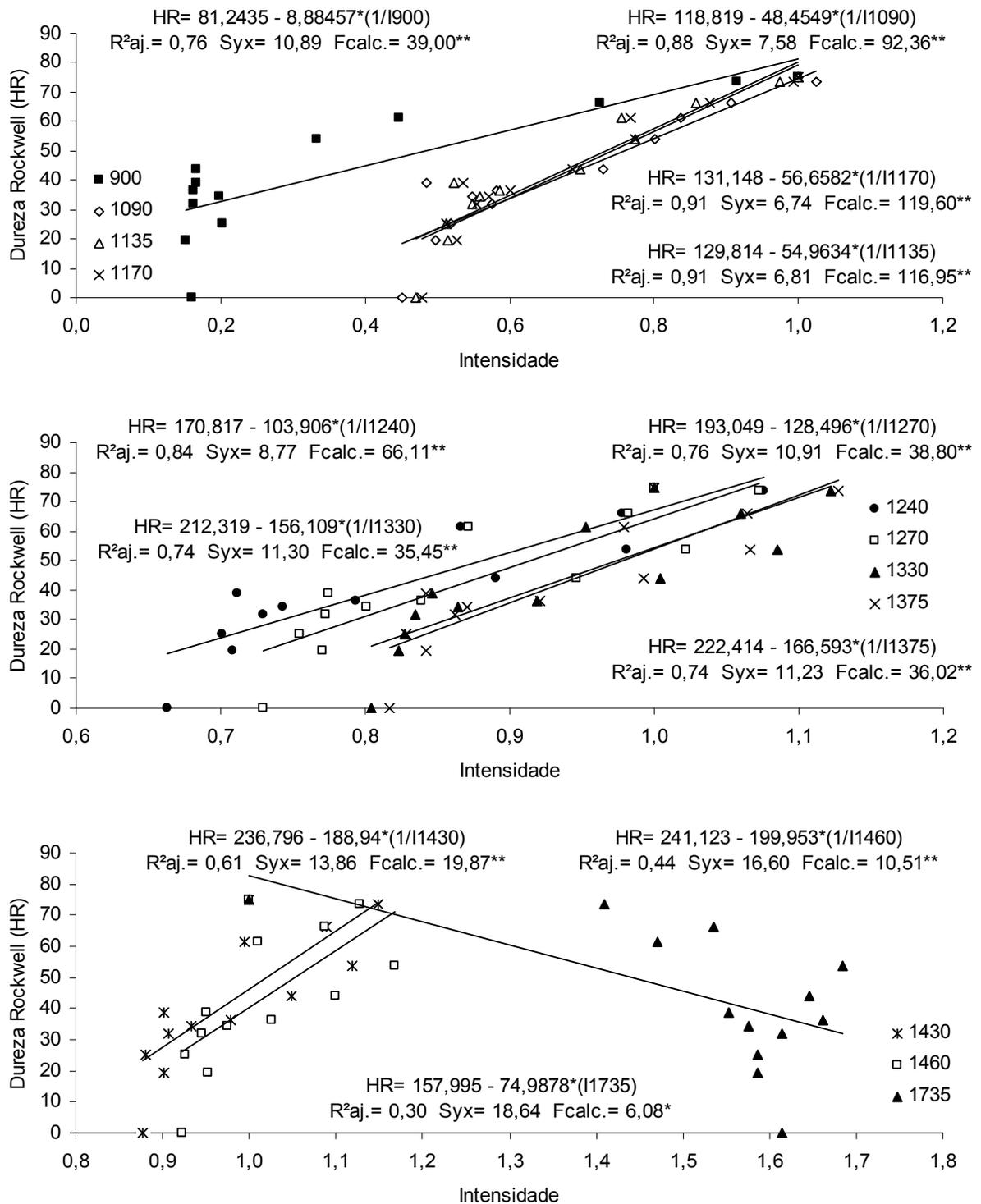


Figura 6.73 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

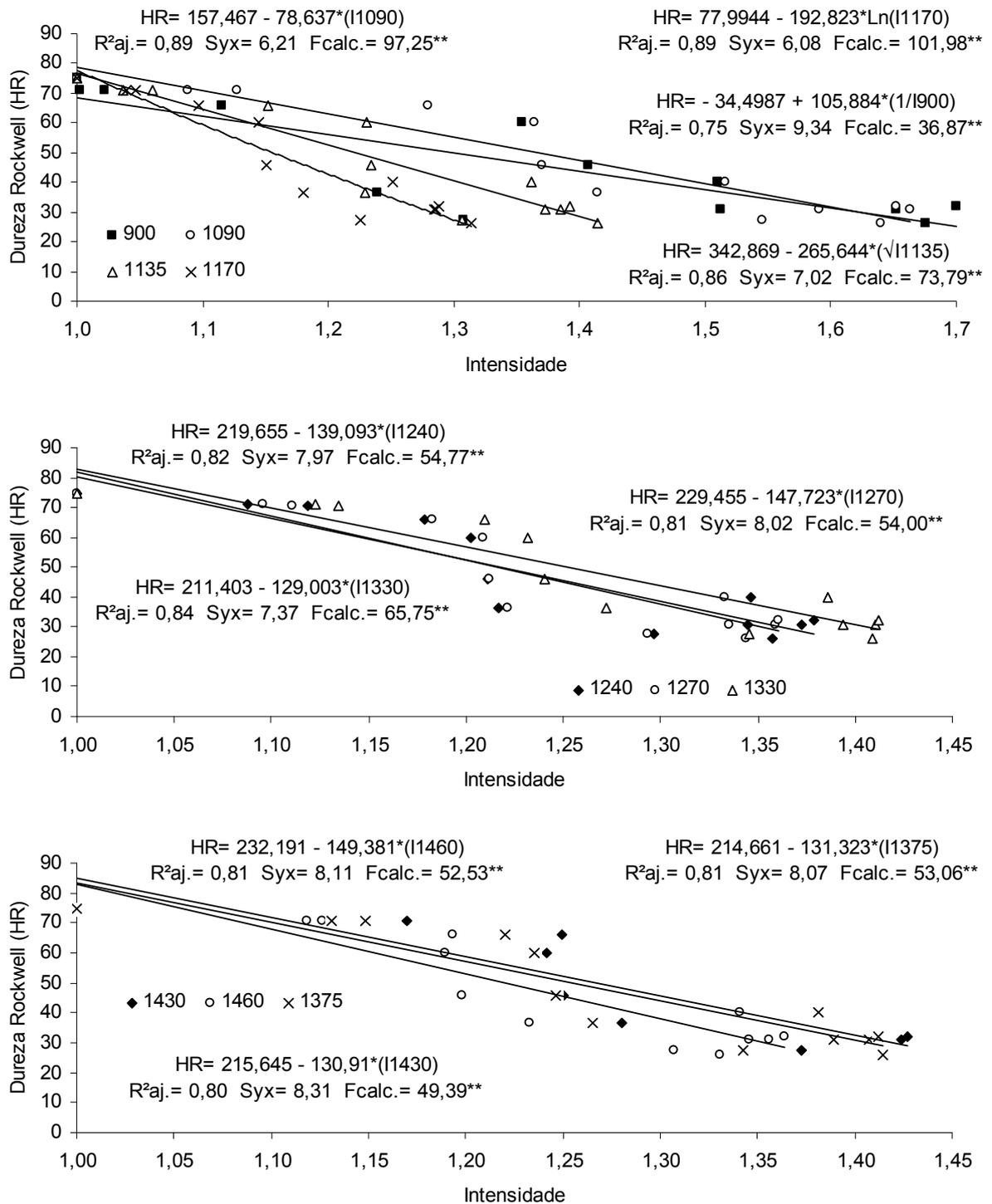


Figura 6.74 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

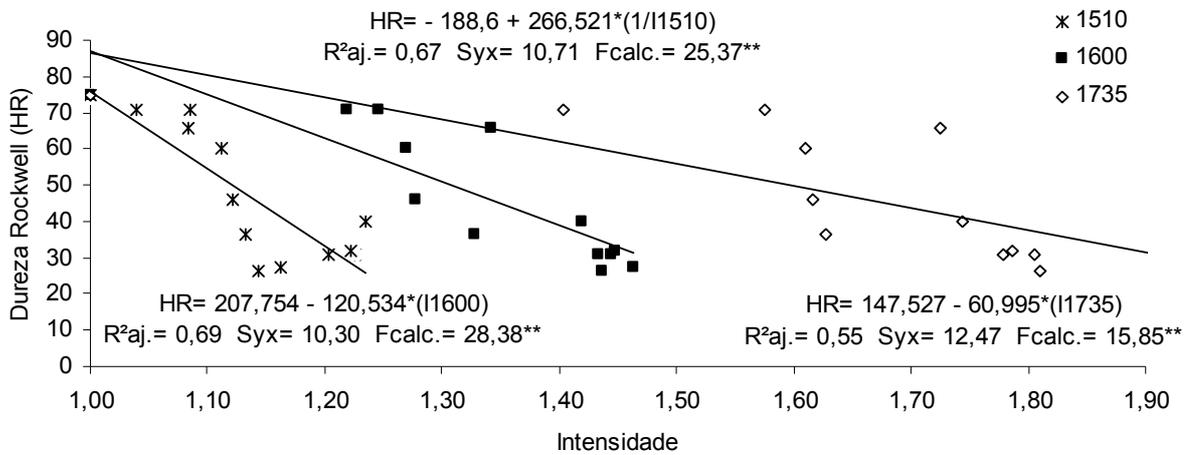


Figura 6.74 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

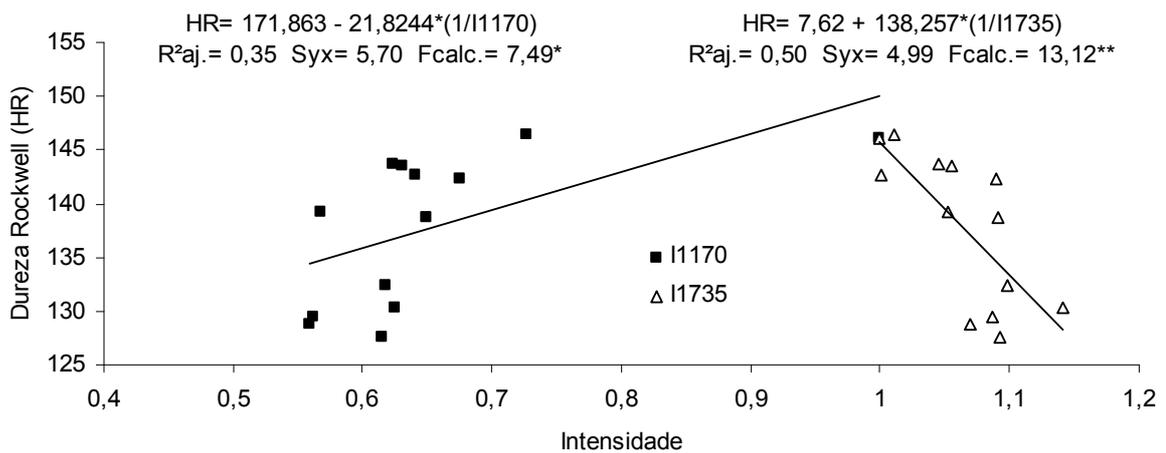


Figura 6.75 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Dipteryx odorata* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

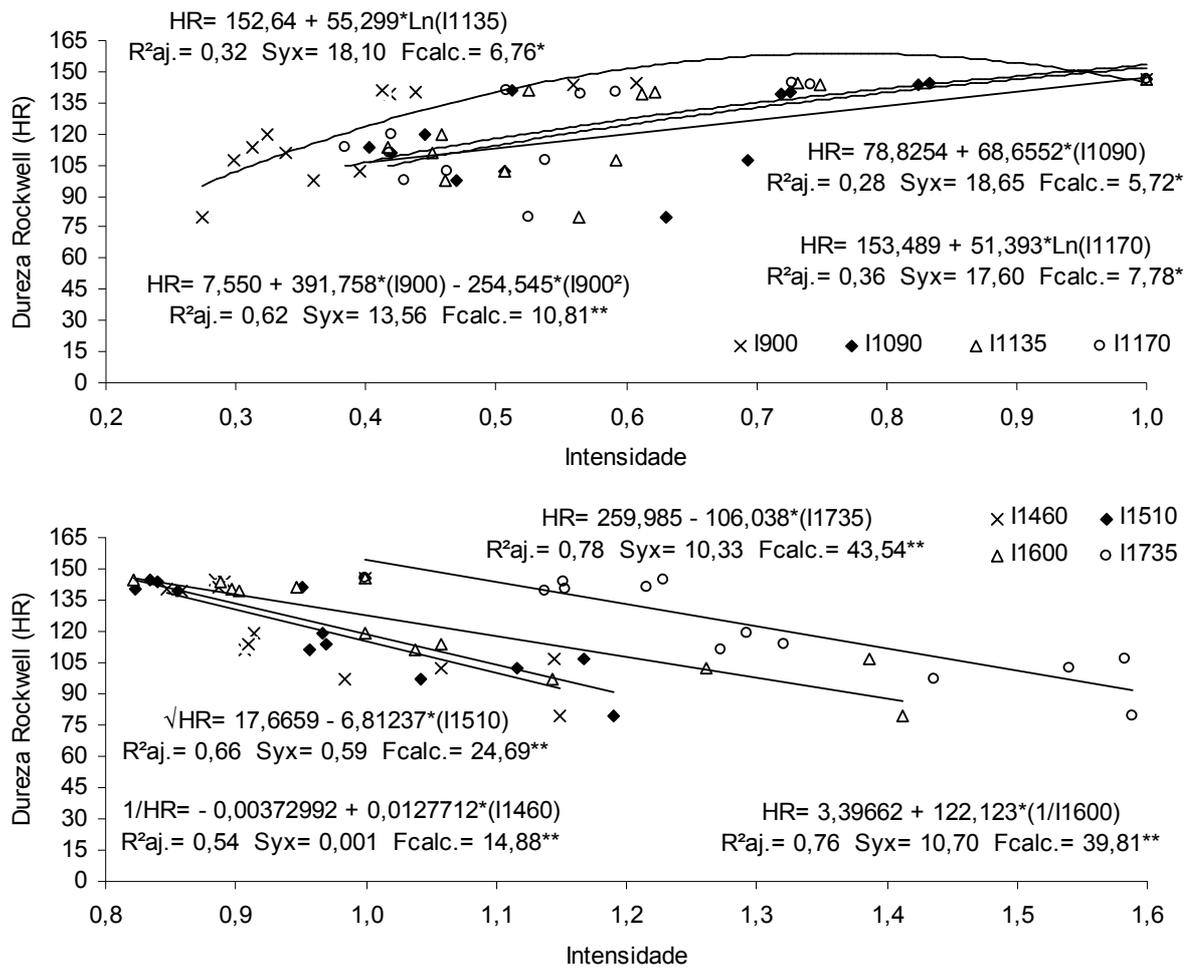


Figura 6.76 Modelos estatísticos gerados para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Dipteryx odorata* em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

Segundo Eaton; Hale (1993) a deterioração da celulose na parede secundária é o principal fator que ocasiona a perda de resistência mecânica da madeira atacada por fungos. De fato, em razão da sua estrutura supramolecular, a celulose é caracterizada como sendo o principal constituinte químico responsável pela resistência mecânica da madeira (KLOCK *et al.*, 2005). Essa conceituação pode ser corroborada no presente estudo ao considerar o decréscimo acentuado na intensidade da banda em 900 cm^{-1} com a exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*.

Em complemento, Solár *et al.* (2007) afirmam que a deterioração das polioses, devido a ação de fungos de podridão parda, também contribui para a redução das propriedades mecânicas,

como constatado no presente estudo. De fato, esse resultado pode ser explicado em razão da estreita relação entre os polissacarídeos (celulose e polioses).

Ao analisar a deterioração proporcionada pelo fungo *Trametes versicolor*, verificou-se que para a madeira de marupá as bandas em 1170 e 900 cm^{-1} , relativas aos carboidratos, apresentaram correlação positiva, de modo significativo, com a perda de resistência mecânica. Entretanto, para a madeira de *Dipteryx odorata*, apenas, a banda em 1170 cm^{-1} foi correlacionada positivamente com a perda de resistência mecânica.

É interessante observar que, independente do fungo apodrecedor, a banda em 1170 cm^{-1} apresentou boa correlação com a perda de resistência mecânica. De acordo com Schwanninger *et al.* (2004b) e Fackler *et al.* (2010) é de conhecimento que a referida banda é sensível a mudanças na cristalinidade e grau de polimerização da celulose, sendo que com o decréscimo da intensidade da banda verifica-se proporcional redução das duas propriedades. A redução na cristalinidade da celulose resulta em redução das propriedades de resistência mecânica da madeira, em virtude de nessa zona verificar-se o ordenamento das microfibrilas, bem como da mesma ser responsável por aproximadamente 30% da massa de madeira (ANDERSSON *et al.*, 2003). Apesar da intensidade relativa I_{1430}/I_{900} (Tabela 6.24) demonstrar que ocorre um ataque preferencial das zonas amorfas pelo *Gloeophyllum trabeum*, se faz necessário considerar que a redução da cristalinidade da celulose é uma característica particular do ataque proporcionado pelos fungos de podridão parda, em que dessa forma facilita-se a acessibilidade aos demais carboidratos (GOODELL, 2003).

Outro ponto de relevância foi a correlação significativa entre a intensidade das bandas relativas a lignina e a dureza Rockwell, evidenciando assim que não somente a celulose influencia nas propriedades mecânicas da madeira (SALMÉN; BERGSTRÖM, 2009).

Apesar da lignina não ser considerada um polímero estrutural, percebe-se que a intensidade das bandas em 1510, 1460, 1270 e 1240 cm^{-1} , para a madeira de marupá atacada pela podridão branca e parda, e em 1460, 1270 e 1240 cm^{-1} , para a madeira de jequitibá atacada, apenas, pela podridão parda, foram correlacionadas positivamente com a perda de resistência. Sandak *et al.*

(2010) ao avaliarem a caracterização mecânica da madeira de *Larix* sp., demonstraram comportamento semelhante, em que com o aumento da resistência mecânica constatou-se maiores intensidades (1550 e 1510 cm^{-1}) das bandas relativas a lignina.

Por sua vez, para as madeiras de cumarú e jequitibá submetidas a podridão parda e branca, respectivamente, registrou-se que a intensidade das bandas em 1600 , 1510 e 1460 cm^{-1} e de 1600 , 1510 , 1460 , 1270 e 1240 cm^{-1} foram correlacionadas negativamente com a dureza Rockwell. Desse modo com o decréscimo da propriedade mecânica ocorreu o aumento da intensidade das bandas de lignina.

6.5 ALTERAÇÃO DOS ÂNGULOS DE CONTATO

Os valores médios e os desvios padrões da variação do ângulo de contato da gota d'água ($\Delta\theta$) nas madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* são apresentados nas Figuras 6.77 a 6.79 e Apêndice 11.

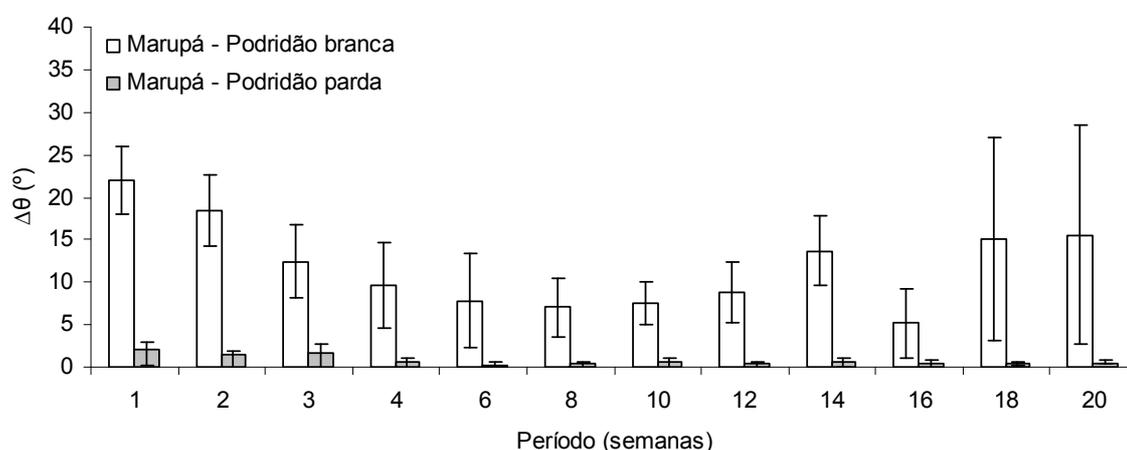


Figura 6.77 Variação do ângulo de contato da gota d'água na madeira de *Simarouba amara* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

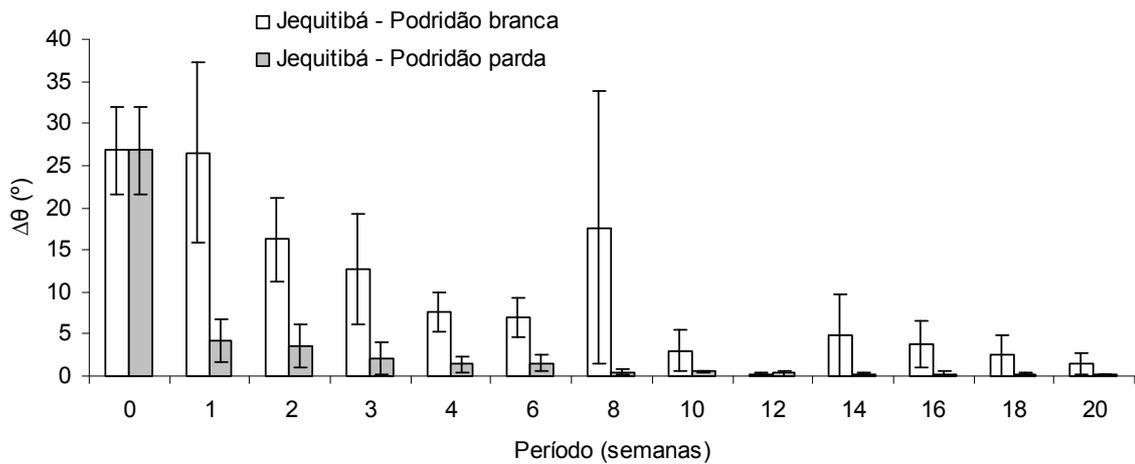


Figura 6.78 Variação do ângulo de contato da gota d'água na madeira de *Cariniana micrantha* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

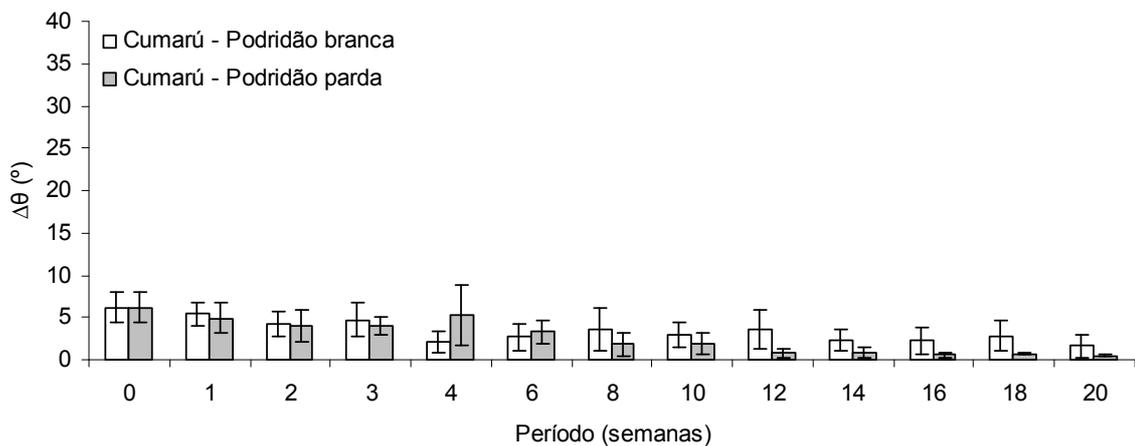


Figura 6.79 Variação do ângulo de contato da gota d'água na madeira de *Dipteryx odorata* submetida ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

De acordo com o teste de médias (Apêndice 11) foi possível observar que a $\Delta\theta$ apresentou variação significativa durante o período de ensaio de apodrecimento acelerado. Diferentemente do registrado para a perda de massa e a dureza Rockwell, observou-se que, de modo geral, os valores da $\Delta\theta$ apresentaram estabilização antes do período de 12 semanas de ataque dos fungos apodrecedores, com exceção das amostras de *Simarouba amara* submetidas ao ataque do fungo de podridão branca, na qual não foi constatada tendência clara.

Para a madeira de *Cariniana micrantha* verificou-se que a partir da 3ª e 4ª semana de ensaio de apodrecimento as médias da $\Delta\theta$ foram constantes sob a exposição dos fungos causadores

de podridão parda e branca, respectivamente. Com relação as amostras de *Dipteryx odorata* constatou-se tendência contrária a *Cariniana micrantha*, na qual a estabilização da $\Delta\Theta$ ocorreu primeiro nas madeiras submetidas ao ataque de *Trametes versicolor* (4ª semana) do que pelo *Gloeophyllum trabeum* (8ª semana). Por fim, para as amostras de *Simarouba amara* expostas ao ataque de *Gloeophyllum trabeum* foi possível verificar uma estabilização das médias de $\Delta\Theta$ a partir da 4ª semana.

Além disso, deve-se destacar o fato de que na semana inicial (semana 0), que antecedeu os ensaios de apodrecimento, não foi possível estabelecer medida do ângulo de contato da gota d'água para a madeira de marupá. Tal resultado pode ser elucidado em razão da elevada porosidade inicial das amostras (Tabela 6.1), de maneira a provocar o espalhamento total, $\Theta=0^\circ$, da gota d'água, corroborando com resultados verificados por Cruz (2006).

Quando avaliado os fungos apodrecedores, assim como as ferramentas não convencionais discutidas anteriormente, pode-se constatar que o emprego do goniômetro, na medição da $\Delta\Theta$, foi eficiente em proporcionar a distinção entre os ataques causados pelos fungos de podridão branca e parda. De maneira geral, foi possível verificar que as madeiras de marupá e jequitibá expostas a ação do *Gloeophyllum trabeum* apresentaram $\Delta\Theta$, significativamente, inferior em relação ao ataque de *Trametes versicolor* durante todo o período de ensaio de apodrecimento. Por sua vez, as amostras de cumarú apresentaram distinção das médias de $\Delta\Theta$, somente, a partir da 12ª semana, em que menores valores foram registrados para o ataque da podridão parda. Nesse sentido, foi possível afirmar que a ação do fungo de podridão parda na madeira proporcionou o menor espalhamento da gota d'água.

Com relação as três espécies florestais, observou-se que as diferenças estatísticas foram registradas, basicamente, a partir da 10ª e 14ª semana, em que as madeiras de jequitibá e cumarú apresentaram menor $\Delta\Theta$ quando comparadas ao marupá, respectivamente (Tabela 6.30). Esse resultado pode ser explicado com base nas características químicas das madeiras, em que se constatou maior presença de substâncias extrativas nas madeiras de cumarú e jequitibá (Tabela 6.1), as quais apresentam características hidrofóbicas (WÅLINDER, 2000; BYRNE, 2008), de modo a repelir o contato d'água com a madeira.

Tabela 6.30. Comparação das médias de variação do ângulo de contato da gota d'água entre as madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* para ambos os fungos apodrecedores.

Período (semanas)	$\Delta\Theta$ (°) - <i>Simarouba amara</i>	$\Delta\Theta$ (°) - <i>Cariniana micrantha</i>	$\Delta\Theta$ (°) - <i>Dipteryx odorata</i>
0	---	26,78 a	6,12 b
1	12,00 ab	15,39 a	5,15 b
2	9,92 a	9,91 a	4,12 a
3	7,04 a	7,38 a	4,32 a
4	5,07 a	4,47 a	3,74 a
6	4,03 a	4,24 a	2,97 a
8	3,69 a	9,05 a	2,71 a
10	4,11 a	1,77 b	2,38 ab
12	4,59 a	0,32 b	2,21 ab
14	7,15 a	2,55 b	1,57 b
16	2,82 a	2,05 a	1,37 a
18	7,77 a	1,39 b	1,75 b
20	8,04 a	0,86 b	1,05 b

Em que: $\Delta\Theta$ = variação do ângulo de contato da gota d'água. *Médias não seguidas por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer.

Adicionalmente, foi possível estabelecer uma relação entre a $\Delta\Theta$, na semana inicial (sem ataque dos fungos apodrecedores), e o potencial de resistência natural intrínseco de cada espécie de madeira. Sendo assim, verificou-se que a madeira de *Dipteryx odorata*, de elevado potencial de resistência natural (Tabela 6.1) apresentou a menor $\Delta\Theta$, ou seja, menor molhabilidade, quando em comparação com as madeiras de *Cariniana micrantha* e *Simarouba amara*, ressaltando que essa última, em razão da elevada porosidade, não possibilitou a medição da $\Delta\Theta$.

Nesse sentido, pode-se afirmar que madeiras com maior molhabilidade apresentam menor resistência biológica, de maneira a serem mais propensas ao ataque de fungos apodrecedores. Em se tratando da madeira em condições de uso prático pode-se validar tal consideração, conforme Oliveira *et al.* (1986) madeiras ao apresentarem uma facilidade de absorção de água do ambiente proporcionam melhores condições ao desenvolvimento de microrganismos, tanto do ponto de vista da colonização como do posterior transporte das enzimas fúngicas.

Na Tabela 6.31 e Figuras 6.80 a 6.82 são apresentadas, respectivamente, as correlações lineares e os modelos preditivos da $\Delta\Theta$ na madeira de cada espécie em função do período de ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

Tabela 6.31 Correlação entre a variação do ângulo de contato da gota d'água nas madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* e o período de exposição aos fungos apodrecedores.

	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	$\Delta\theta$ -TV (°)	$\Delta\theta$ -GT (°)	$\Delta\theta$ -TV (°)	$\Delta\theta$ -GT (°)	$\Delta\theta$ -TV (°)	$\Delta\theta$ -GT (°)
Período (semanas)	- 0,23 (0,48 ^{NS})	- 0,65 (0,02*)	- 0,81 (< 0,01**)	- 0,52 (0,07 ^{NS})	- 0,76 (< 0,01**)	- 0,92 (< 0,01**)

Em que: $\Delta\theta$ -TV= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo *Trametes versicolor*; $\Delta\theta$ -GT= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

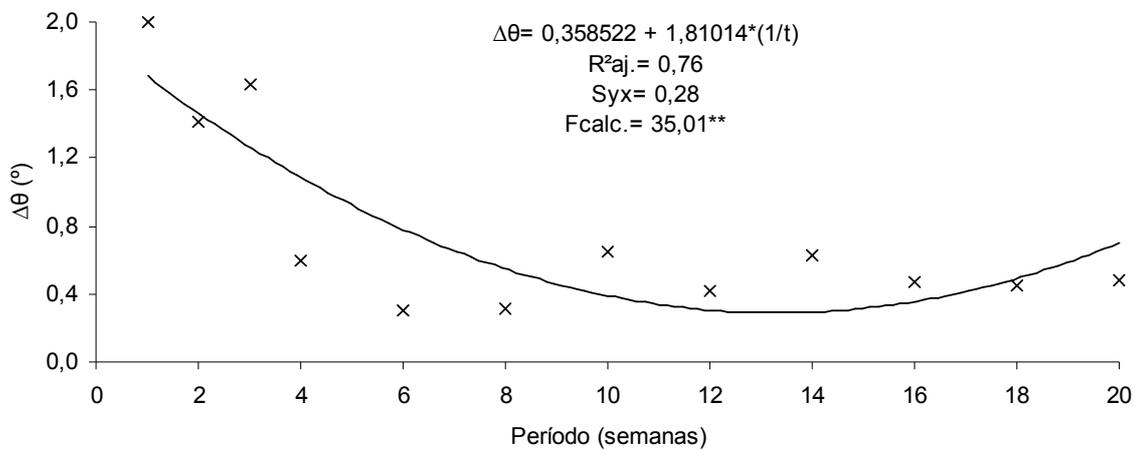


Figura 6.80 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função do tempo de exposição da madeira de *Simarouba amara* ao fungo de podridão parda.

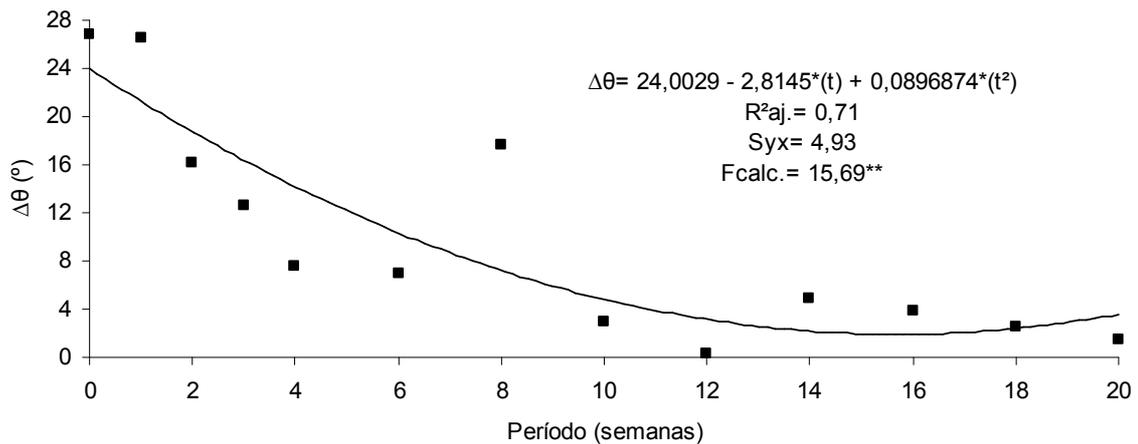


Figura 6.81 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função do tempo de exposição da madeira de *Cariniana micrantha* ao fungo de podridão branca.

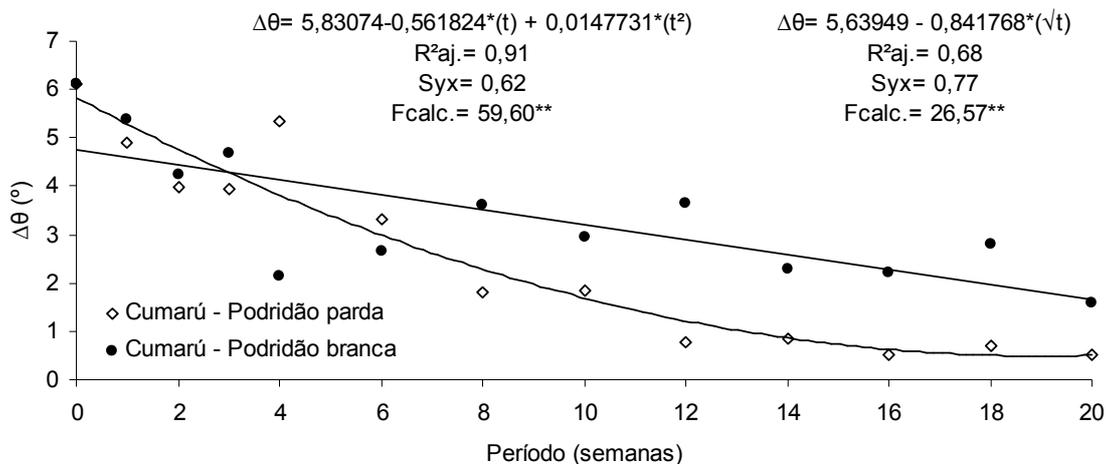


Figura 6.82 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função do tempo de exposição da madeira de *Dipteryx odorata* aos fungos apodrecedores.

Por meio dos parâmetros estatísticos (R , $R^2_{aj.}$, S_{yx} e valor de F calculado) pode-se verificar que tanto as correlações quanto os modelos estatísticos, delimitados para a madeira de *Dipteryx odorata*, foram satisfatórios, significativos a 1%, indiferente ao fungo apodrecedor. Por sua vez, para as madeiras de *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha* constatou-se que, apenas, no ataque da podridão parda e branca, respectivamente, foram verificadas correlações significativas.

Entretanto deve-se ressaltar que em razão da molhabilidade ser uma técnica de resposta superficial e associado a esse fato o acréscimo da heterogeneidade física superficial das amostras de madeira pelo ataque dos fungos apodrecedores, os valores obtidos de $\Delta\theta$ apresentaram um elevado desvio padrão, dificultando, dessa forma, a obtenção de ajustes mais precisos de predição. De acordo com Brissolari (2008) e Oliveira (2009) em razão da rugosidade da madeira, um determinado ponto de deposição da gota do líquido pode favorecer a formação de um ângulo de contato maior ou menor.

As correlações lineares e o subsequente estabelecimento de modelos estatísticos de predição da perda de massa e dureza Rockwell da madeira de cada espécie em função da $\Delta\theta$ proporcionada pela exposição aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum*

trabeum são apresentadas na Tabela 6.32 e Figuras 6.83 a 6.88, respectivamente.

Tabela 6.32 Correlação entre a variação do ângulo de contato da gota d'água e a perda de massa e dureza Rockwell das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas ao ataque dos fungos apodrecedores.

	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	$\Delta\theta$ -TV (°)	$\Delta\theta$ -GT (°)	$\Delta\theta$ -TV (°)	$\Delta\theta$ -GT (°)	$\Delta\theta$ -TV (°)	$\Delta\theta$ -GT (°)
PM (%)	- 0,33 (0,30 ^{NS})	- 0,80 (< 0,01**)	- 0,85 (< 0,01**)	- 0,52 (0,07 ^{NS})	- 0,82 (< 0,01**)	- 0,87 (< 0,01**)
HR	0,36 (0,25 ^{NS})	0,66 (0,02*)	0,84 (< 0,01**)	0,57 (0,04*)	0,70 (< 0,01**)	0,90 (< 0,01**)

Em que: $\Delta\theta$ -TV= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo *Trametes versicolor*; $\Delta\theta$ -GT= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; PM= perda de massa; HR= dureza Rockwell. **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

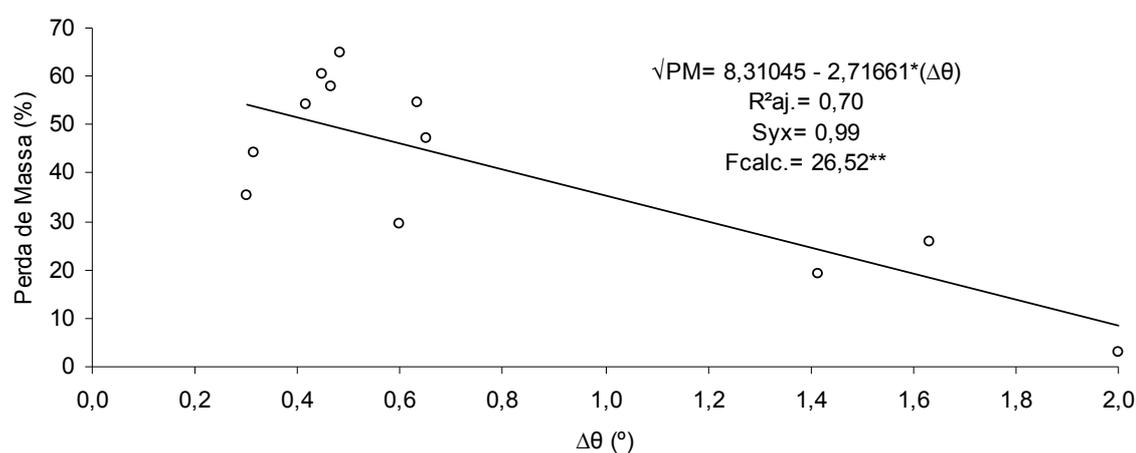


Figura 6.83 Modelo estatístico gerado para a predição da perda de massa da madeira de *Simarouba amara* em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

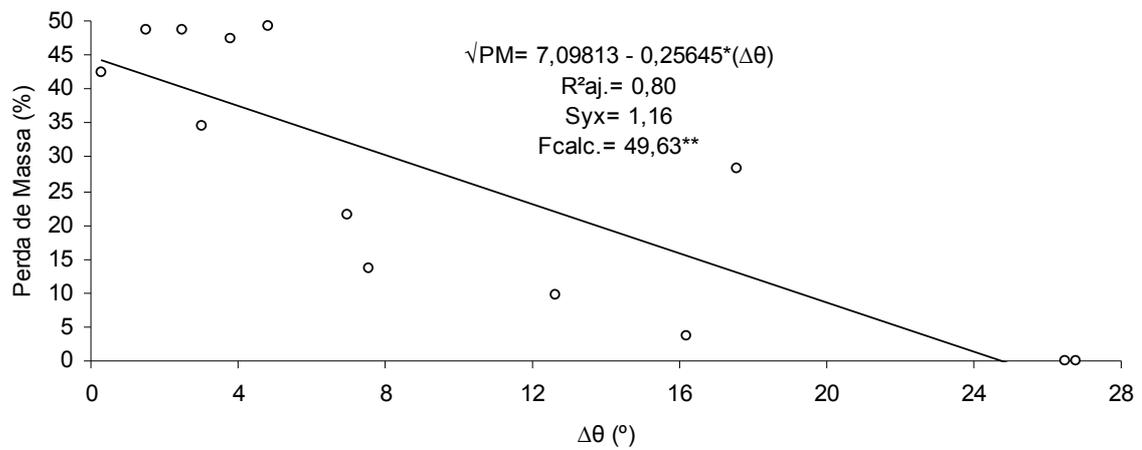


Figura 6.84 Modelo estatístico gerado para a predição da perda de massa da madeira de *Cariniana micrantha* em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

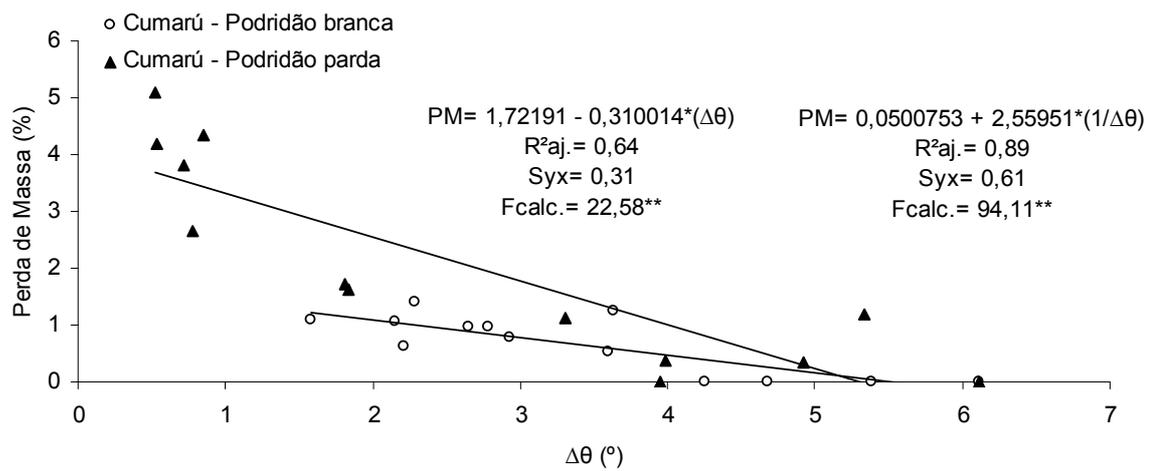


Figura 6.85 Modelo estatístico gerado para a predição da perda de massa da madeira de *Dipteryx odorata* em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

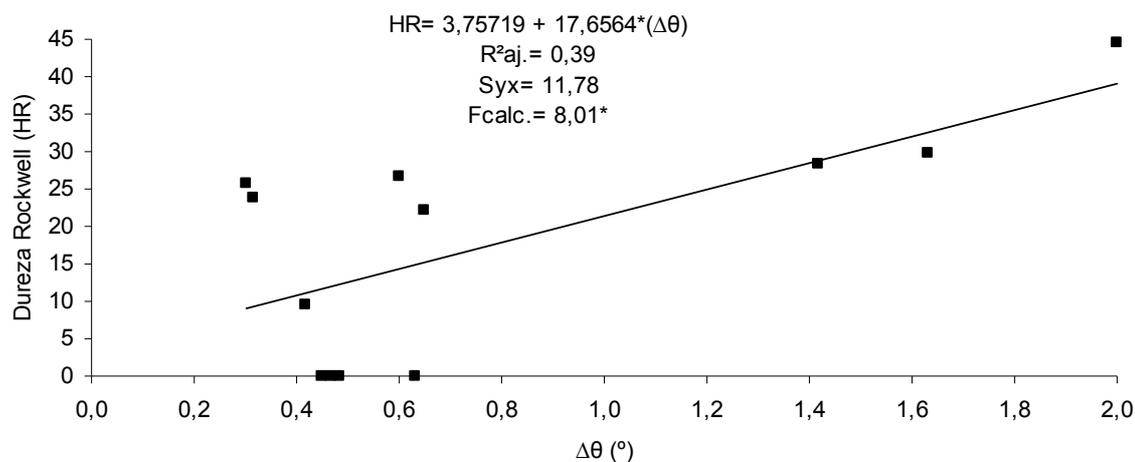


Figura 6.86 Modelo estatístico gerado para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Simarouba amara* em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

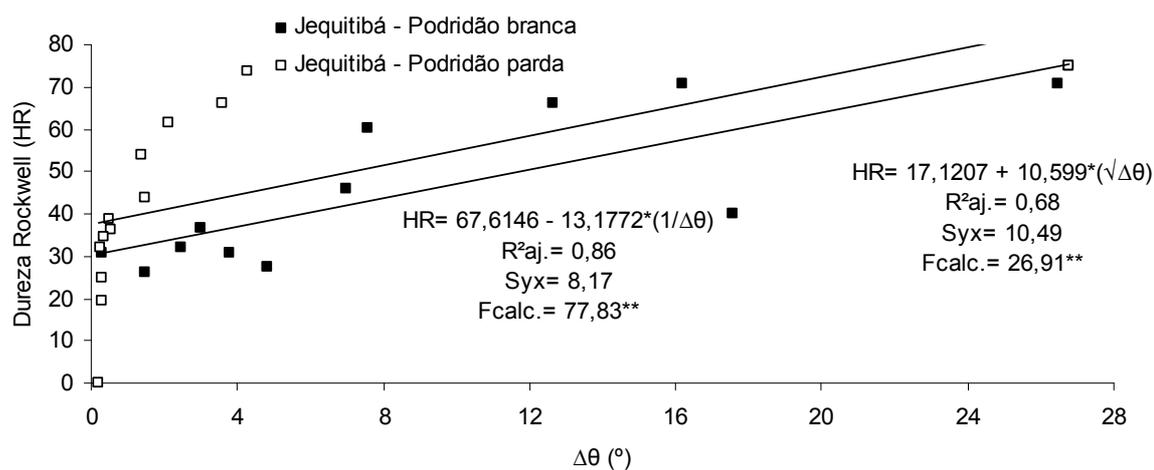


Figura 6.87 Modelo estatístico gerado para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Cariniana micrantha* em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

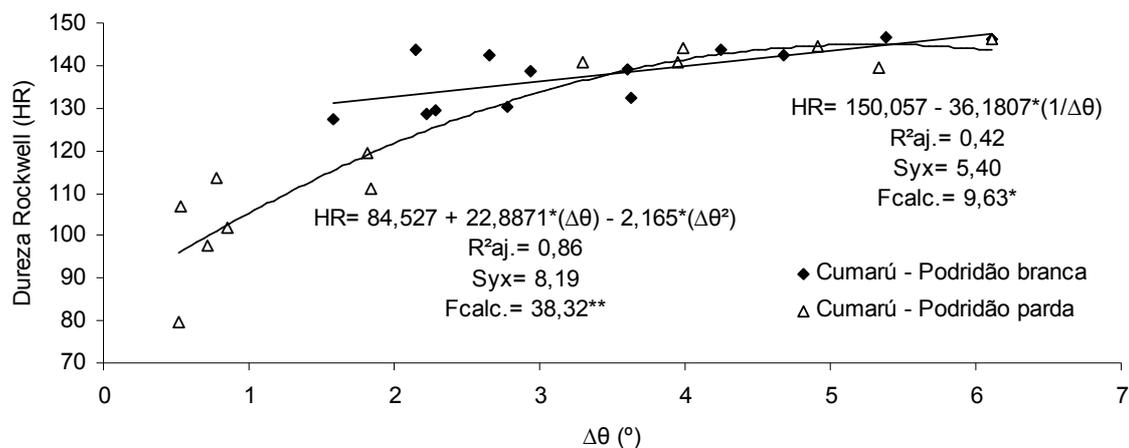


Figura 6.88 Modelo estatístico gerado para a predição da dureza Rockwell da madeira de *Dipteryx odorata* em função da variação do ângulo de contato da gota d'água causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

Hakkou *et al.* (2005) ao investigarem as relações entre as propriedades da madeira tratada termicamente de *Fagus sylvatica* e a resistência natural ao apodrecimento de *Trametes versicolor*, mencionaram que não há uma relação clara entre a medida do ângulo de contato da gota e a perda de massa causada pelo microrganismo. Esse resultado foi semelhante ao verificado no presente estudo para a madeira de *Simarouba amara* submetida a deterioração pelo mesmo fungo, bem como para *Cariniana micrantha* exposta a podridão parda.

Por outro lado, para as madeiras de *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* atacadas pelo *Trametes versicolor* constatou-se que as variáveis de perda de massa e $\Delta\theta$ foram correlacionadas negativamente entre si, de modo significativo, ou seja, com o progresso da perda de massa ocorreu redução do espalhamento da gota d'água. Da mesma forma, observou-se correlação negativa da perda de massa com a $\Delta\theta$ para as amostras de *Simarouba amara* e *Dipteryx odorata* submetidas ao apodrecimento com o fungo *Gloeophyllum trabeum*.

Quando analisada a dureza Rockwell e a $\Delta\theta$ verificou-se que, apenas, para *Simarouba amara* submetida ao ataque de *Trametes versicolor* a correlação entre as variáveis não foi significativa. Para as demais interações entre madeiras e fungos apodrecedores as correlações foram significativamente positivas, sendo constatada a redução do espalhamento da gota

d'água com o decréscimo na dureza Rockwell.

Em um primeiro momento, poderia se esperar que com o progresso da biodeterioração das madeiras, de maneira a proporcionar redução da massa específica e consequente aumento da porosidade, houvesse um maior espalhamento da gota d'água na superfície da madeira, ou seja, um acréscimo da molhabilidade. Porém, verificou-se que a molhabilidade das madeiras biodeterioradas comportou-se de forma contrária, ou seja, houve diminuição da $\Delta\Theta$.

Ziglio (2010) ao avaliar as madeiras de *Pinus* sp. e *Hymnae* sp. com e sem ataque de *Paecilomyces variotti* (fungo de podridão mole) também verificou redução da molhabilidade com a perda de resistência biológica, de modo a corroborar com os resultados apresentados no presente estudo. Segundo o autor supracitado, a justificativa de tal resultado não foi propriamente reflexo da biodeterioração da madeira, mas sim relativo ao processo de condicionamento forçado, para obtenção da massa final resultante do ataque xilófago, a temperatura de 121°C. De fato as deteriorações físicas provocadas, por exemplo, por uma secagem excessiva, podem também conduzir a uma diminuição da molhabilidade (MARTINS, 2008), devido a deterioração das polioses e migração dos extrativos para a parte superficial da madeira (BYRNE, 2008).

Em razão de no presente estudo ter sido adotado um condicionamento suave, temperatura de 50°C, de modo a minimizar a influência de uma possível deterioração física, a redução da molhabilidade só pode ser justificável com base nas características químicas das superfícies das madeiras expostas aos fungos apodrecedores.

Na Tabela 6.33 e Figuras 6.89 a 6.97 são apresentados, para cada espécie de madeira, as correlações lineares e os modelos de predição, respectivamente, entre a $\Delta\Theta$ e as intensidades de diferentes bandas de DRIFT-MIR e os parâmetros colorimétricos modificados pelo ataque dos fungos de podridão branca e parda.

Tabela 6.33 Correlação entre a variação do ângulo de contato da gota d'água e as alterações dos parâmetros químicos e colorimétricos das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* expostas aos fungos expostas apodrecedores.

	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	$\Delta\Theta$ -TV (°)	$\Delta\Theta$ -GT (°)	$\Delta\Theta$ -TV (°)	$\Delta\Theta$ -GT (°)	$\Delta\Theta$ -TV (°)	$\Delta\Theta$ -GT (°)
900 cm ⁻¹	0,22 (0,50 ^{NS})	0,66 (0,02*)	- 0,75 (< 0,01**)	0,74 (< 0,01**)	0,70 (< 0,01**)	0,79 (< 0,01**)
1090 cm ⁻¹	- 0,57 (0,05 ^{NS})	0,78 (< 0,01**)	- 0,85 (< 0,01**)	0,60 (0,03*)	0,33 (0,27 ^{NS})	0,76 (< 0,01**)
1135 cm ⁻¹	- 0,43 (0,16 ^{NS})	0,78 (< 0,01**)	- 0,81 (< 0,01**)	0,68 (0,01*)	0,72 (< 0,01**)	0,77 (< 0,01**)
1170 cm ⁻¹	- 0,30 (0,34 ^{NS})	0,77 (< 0,01**)	- 0,82 (< 0,01**)	0,66 (0,01*)	0,77 (< 0,01**)	0,79 (< 0,01**)
1240 cm ⁻¹	- 0,02 (0,95 ^{NS})	0,73 (< 0,01**)	- 0,79 (< 0,01**)	0,51 (0,08 ^{NS})	0,62 (0,02*)	0,42 (0,15 ^{NS})
1270 cm ⁻¹	0,11 (0,73 ^{NS})	0,75 (< 0,01**)	- 0,80 (< 0,01**)	0,47 (0,10 ^{NS})	0,64 (0,02*)	0,14 (0,65 ^{NS})
1330 cm ⁻¹	0,03 (0,94 ^{NS})	0,72 (< 0,01**)	- 0,80 (< 0,01**)	0,33 (0,27 ^{NS})	0,64 (0,02*)	- 0,06 (0,84 ^{NS})
1375 cm ⁻¹	0,16 (0,63 ^{NS})	0,74 (< 0,01**)	- 0,80 (< 0,01**)	0,33 (0,27 ^{NS})	0,64 (0,02*)	- 0,22 (0,47 ^{NS})
1430 cm ⁻¹	0,37 (0,23 ^{NS})	0,71 (< 0,01**)	- 0,80 (< 0,01**)	0,21 (0,49 ^{NS})	0,56 (0,04*)	- 0,33 (0,27 ^{NS})
1460 cm ⁻¹	0,45 (0,14 ^{NS})	0,64 (0,02*)	- 0,78 (< 0,01**)	0,08 (0,80 ^{NS})	0,68 (0,01*)	- 0,57 (0,04*)
1510 cm ⁻¹	0,34 (0,28 ^{NS})	0,57 (0,05 ^{NS})	- 0,60 (0,03*)	- 0,12 (0,69 ^{NS})	0,73 (< 0,01**)	- 0,72 (< 0,01**)
1600 cm ⁻¹	0,80 (< 0,01**)	0,50 (0,10 ^{NS})	- 0,77 (< 0,01**)	- 0,50 (0,08 ^{NS})	0,20 (0,51 ^{NS})	- 0,77 (< 0,01**)
1735 cm ⁻¹	0,57 (0,05 ^{NS})	0,32 (0,30 ^{NS})	- 0,79 (< 0,01**)	- 0,94 (< 0,01**)	- 0,48 (0,10 ^{NS})	- 0,89 (< 0,01**)
L*	- 0,50 (0,10 ^{NS})	0,76 (< 0,01**)	0,92 (< 0,01**)	0,66 (0,01*)	0,24 (0,43 ^{NS})	0,96 (< 0,01**)
a*	- 0,38 (0,23 ^{NS})	- 0,78 (< 0,01**)	0,21 (0,48 ^{NS})	- 0,14 (0,64 ^{NS})	0,09 (0,77 ^{NS})	0,54 (0,05 ^{NS})
b*	- 0,28 (0,37 ^{NS})	0,26 (0,41 ^{NS})	- 0,77 (< 0,01**)	- 0,10 (0,74 ^{NS})	- 0,80 (< 0,01**)	0,91 (< 0,01**)
C	- 0,29 (0,35 ^{NS})	0,07 (0,83 ^{NS})	- 0,75 (< 0,01**)	- 0,11 (0,72 ^{NS})	- 0,79 (< 0,01**)	0,93 (< 0,01**)
h*	0,44 (0,15 ^{NS})	0,71 (0,01*)	- 0,80 (< 0,01**)	- 0,02 (0,93 ^{NS})	0,59 (0,03 ^{NS})	0,81 (< 0,01**)
ΔE	- 0,25 (0,43 ^{NS})	- 0,76 (< 0,01**)	- 0,90 (< 0,01**)	- 0,74 (< 0,01**)	- 0,38 (0,20 ^{NS})	- 0,97 (< 0,01**)

Em que: $\Delta\Theta$ -TV= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo *Trametes versicolor*; $\Delta\Theta$ -GT= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*; **= significativo a 1%; *= significativo a 5%; ^{NS}= não significativo.

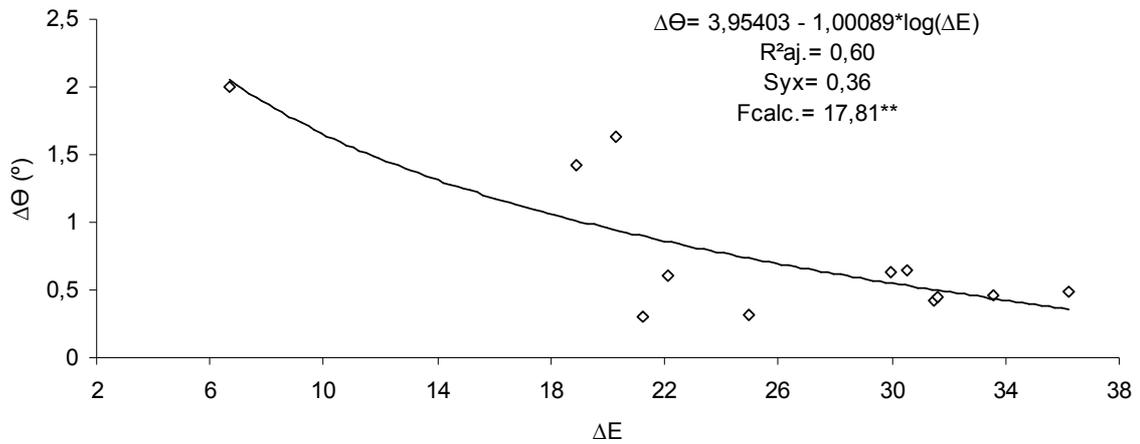


Figura 6.89 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da variação total da cor da madeira de *Simarouba amara* causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

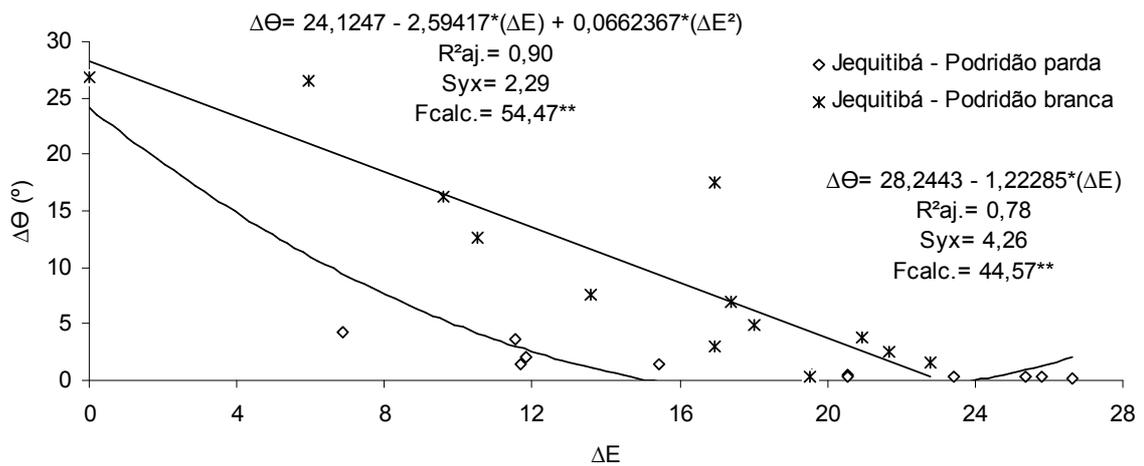


Figura 6.90 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da variação total da cor da madeira de *Cariniana micrantha* causada pela exposição aos fungos apodrecedores.

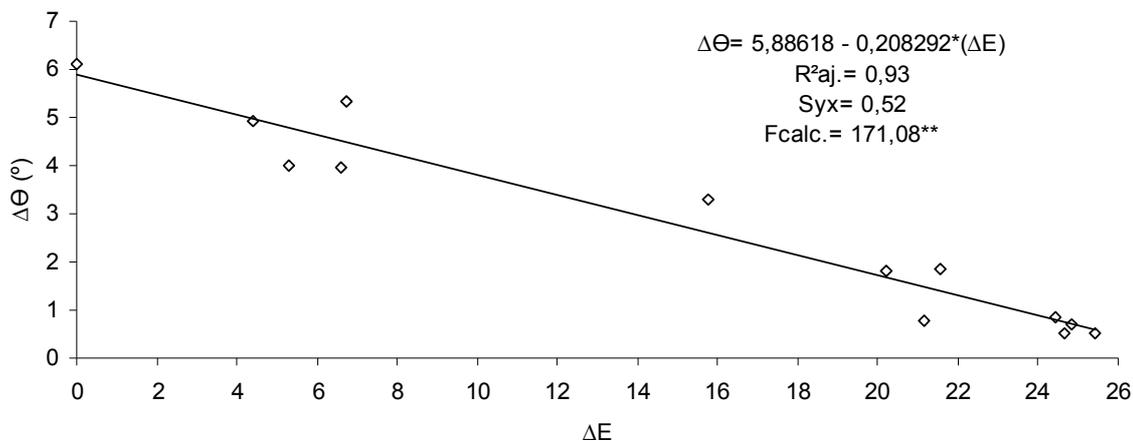


Figura 6.91 Modelo estatístico gerado para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da variação total da cor da madeira de *Dipteryx odorata* causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

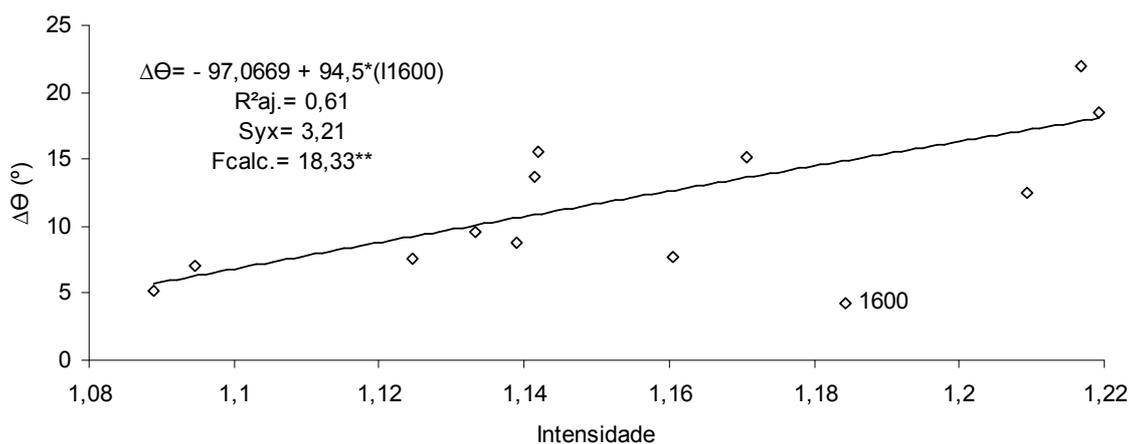


Figura 6.92 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

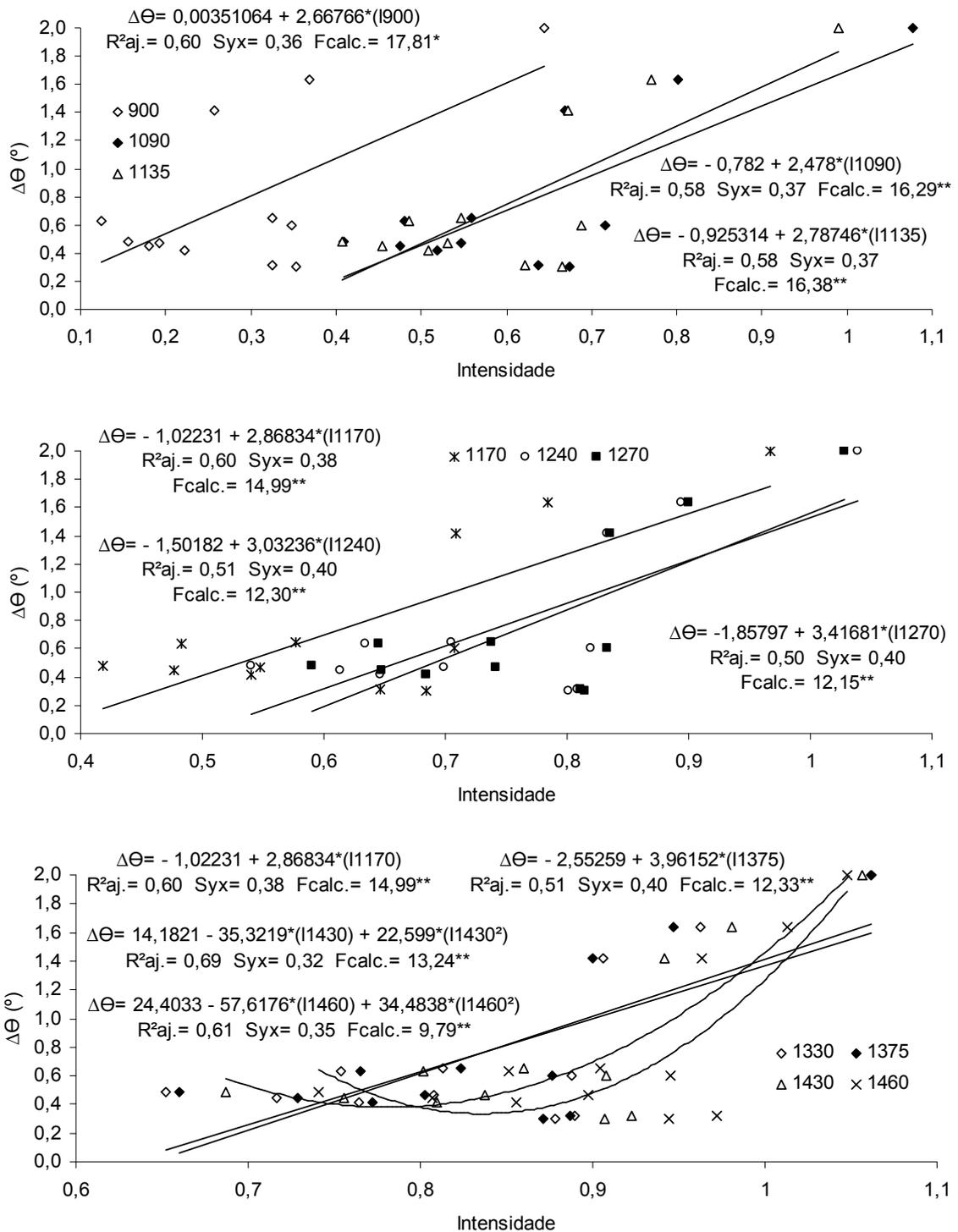


Figura 6.93 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Simarouba amara* causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

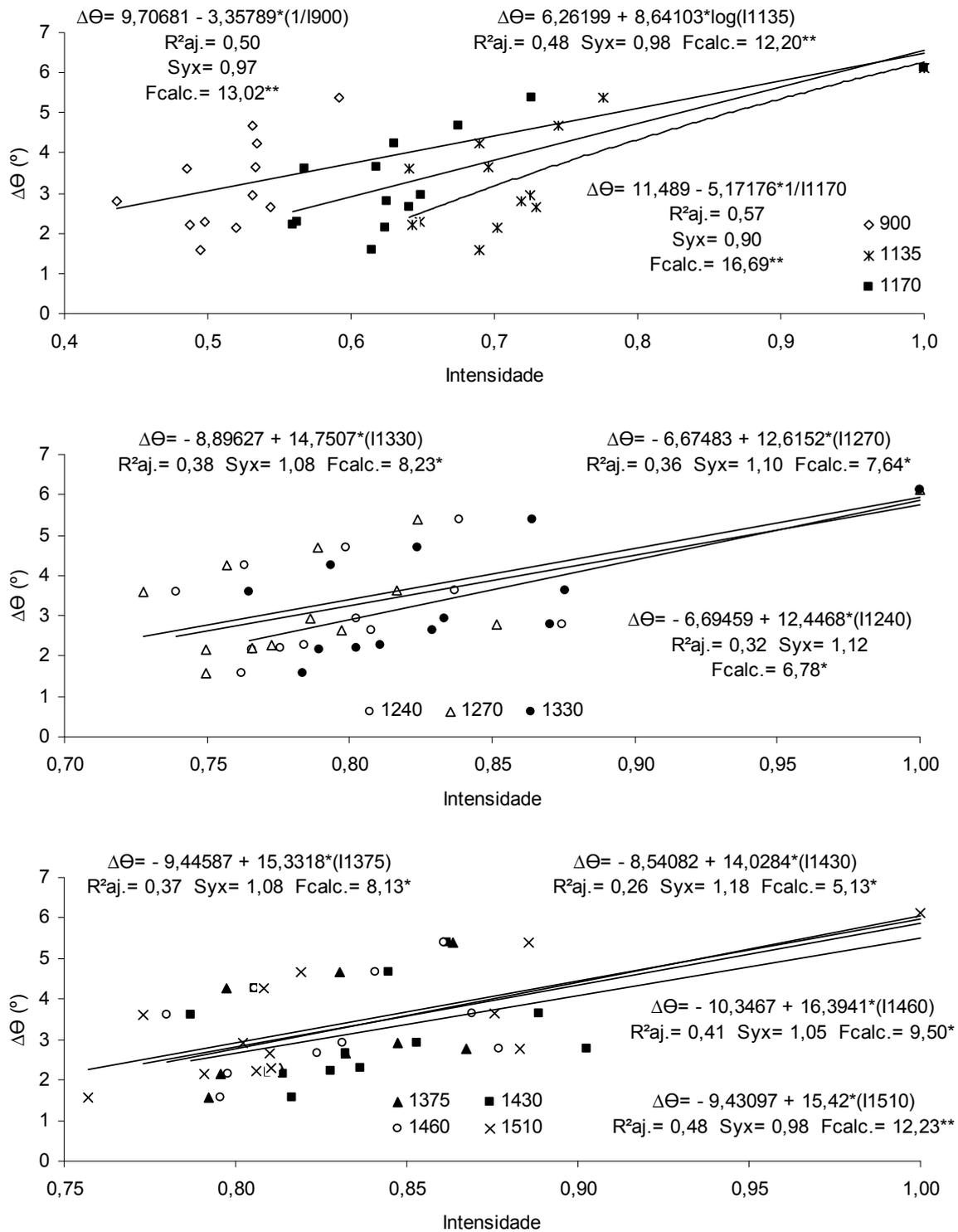


Figura 6.94 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

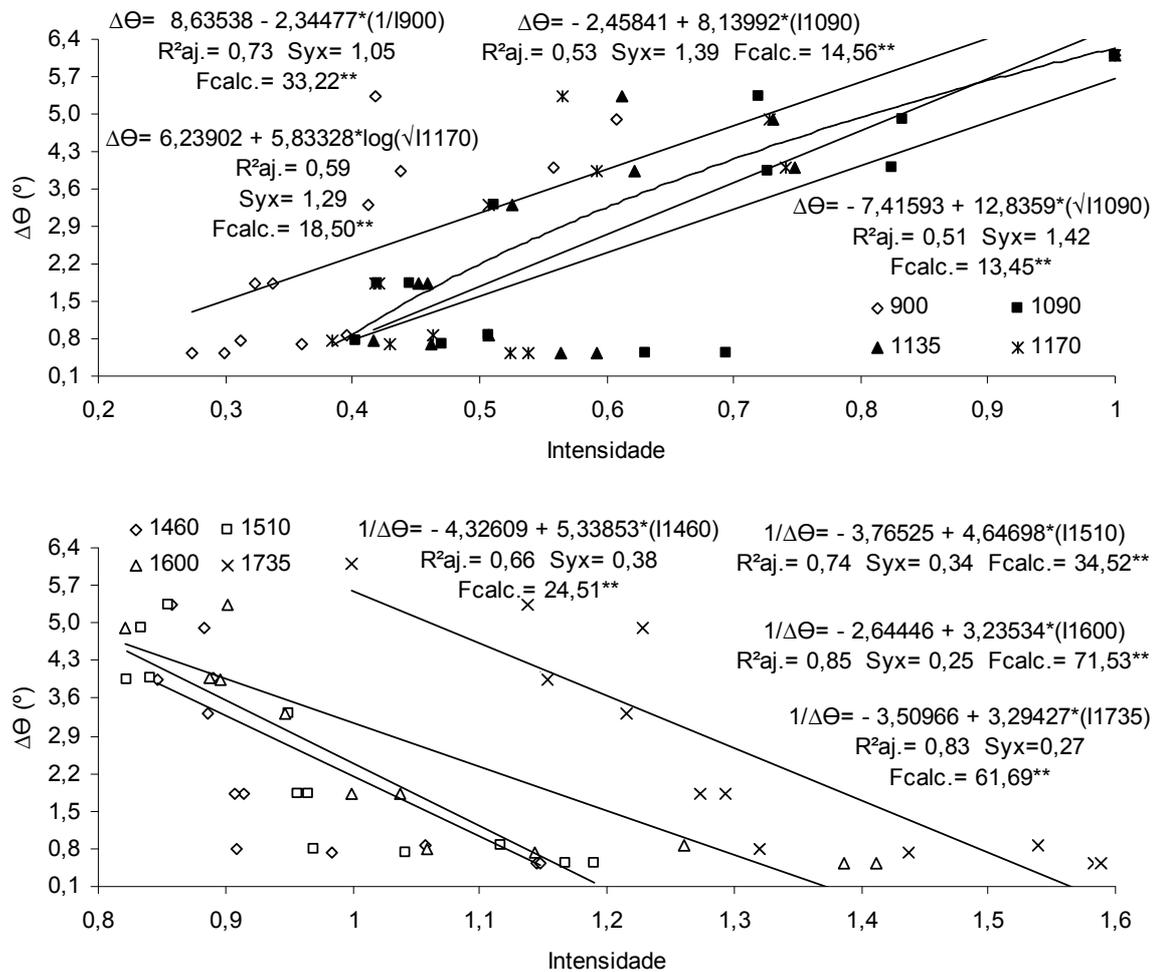


Figura 6.95 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Dipteryx odorata* causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

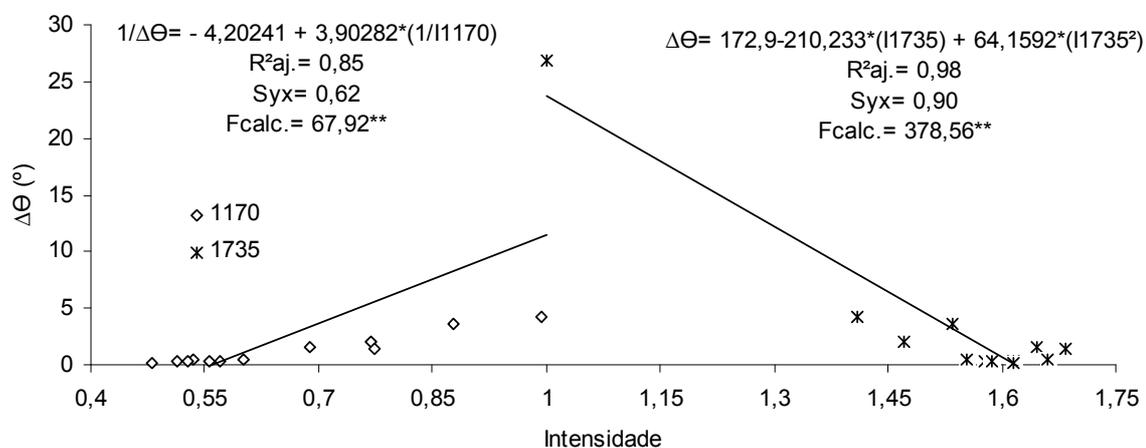
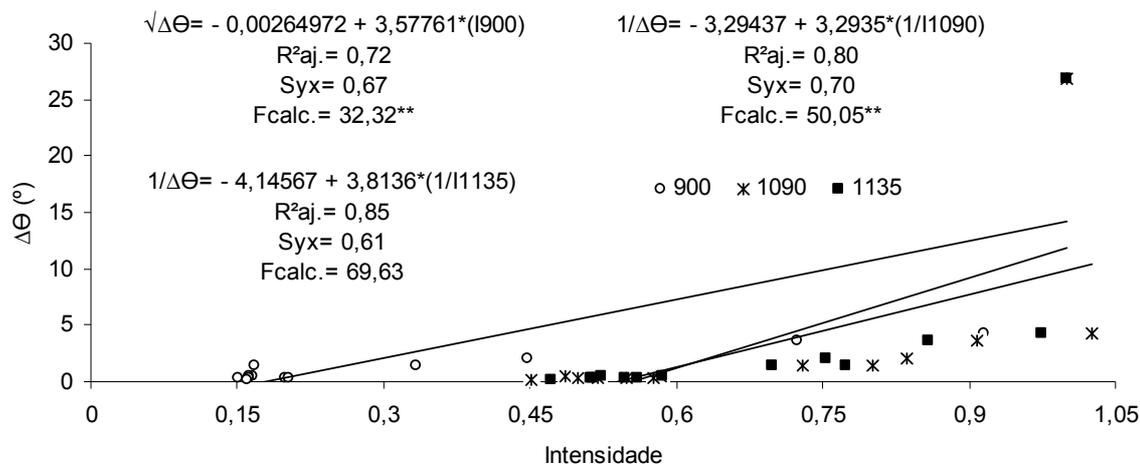


Figura 6.96 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* causada pela exposição ao fungo de podridão parda.

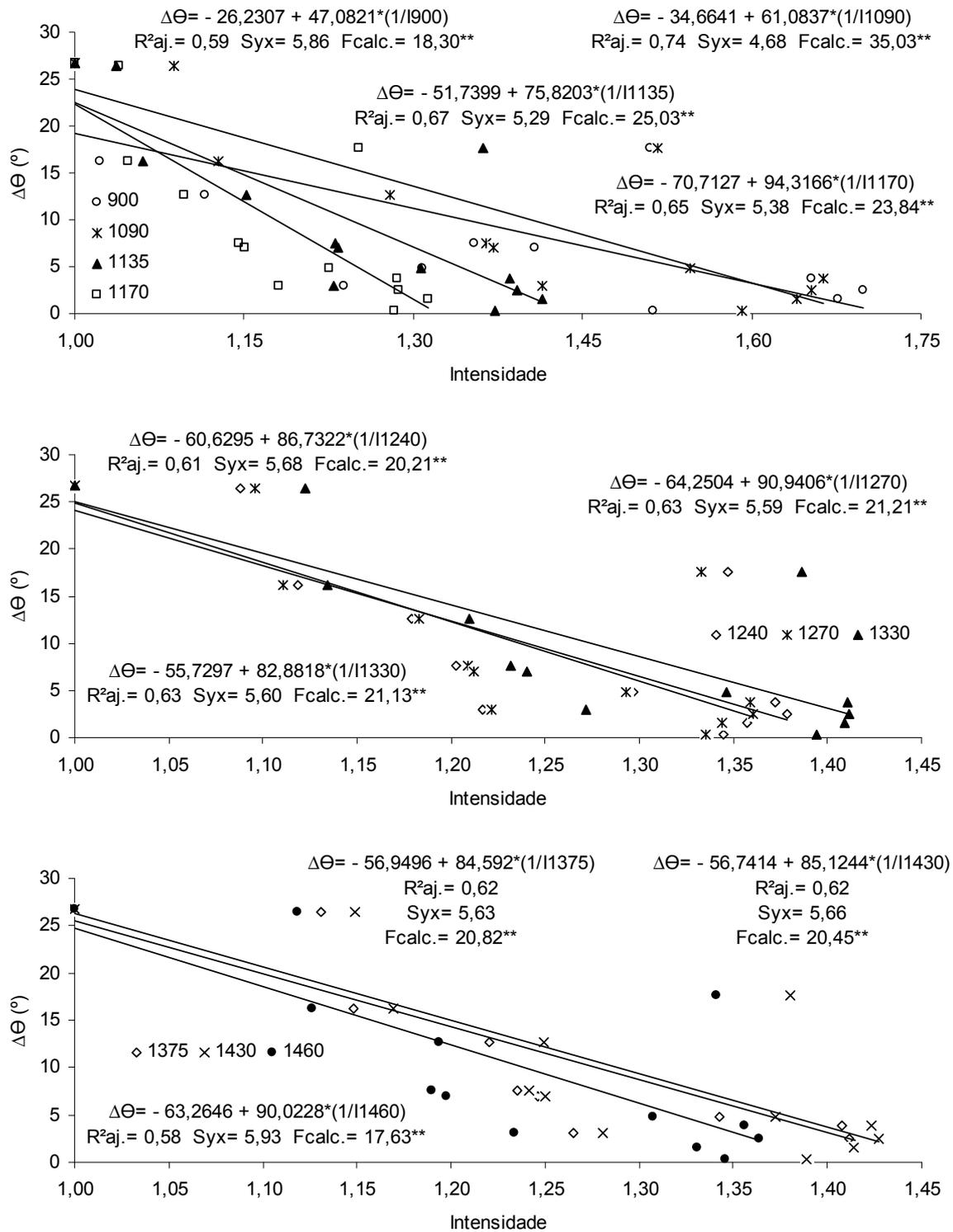


Figura 6.97 Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

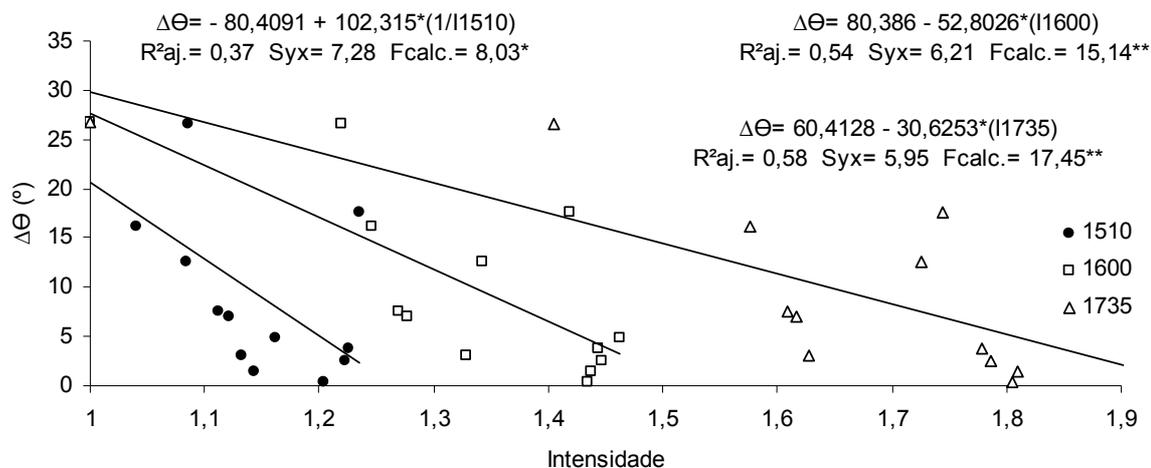


Figura 6.97 (continuação) Modelos estatísticos gerados para a predição da variação do ângulo de contato da gota d'água em função da alteração da intensidade dos parâmetros químicos da madeira de *Cariniana micrantha* causada pela exposição ao fungo de podridão branca.

Nota-se que a $\Delta\Theta$ das madeiras atacadas pelo *Gloeophyllum trabeum* apresentou correlação positiva, de maneira significativa, com as intensidades das bandas relativas ao *fingerprint* entre 1200 a 900 cm^{-1} . Sendo assim, em razão do decréscimo dos polissacarídeos, especialmente as polioses e as zonas amorfas da celulose, os quais caracterizam-se por apresentarem em sua estrutura química grupamentos de hidroxilas livres para se atraírem às moléculas de água (ROWELL, 2005), pode-se explicar o menor espalhamento da gota d'água quando em contato com a superfície da madeira biodeteriorada.

Mesmo não sendo possível observar correlação negativa, de maneira significativa, entre a $\Delta\Theta$ e as bandas relativas a lignina (1600, 1510 e 1460 cm^{-1}), exceto para a madeira de cumarú, pode-se atribuir, adicionalmente, que a menor molhabilidade das madeiras expostas a podridão parda está relacionada a presença de frações residuais de lignina, as quais são consideradas hidrofóbicas (WÅLINDER, 2000; BYRNE, 2008), ou seja, repelem o contato de moléculas de água.

Outro ponto que é válido enfatizar no ataque proporcionado pelo *Gloeophyllum trabeum* diz respeito a correlação negativa entre a $\Delta\Theta$ e a banda 1735 cm^{-1} , como discutido anteriormente, essa banda é característica da deterioração de estruturas de polioses e/ou devido a presença de compostos extrativos, devido a vibração de grupamentos carbonílicos, de modo a auxiliar na

justificativa do comportamento da molhabilidade nas madeiras de jequitibá e cumarú.

Apesar da madeira atacada pelos fungos apodrecedores ter apresentado, aparentemente, uma maior rugosidade, o que poderia ter influenciado no aumento da molhabilidade, pode-se considerar que a superfície rugosa não contribuiu para a $\Delta\theta$, corroborando com dados apresentados por Amorim *et al* (2012). Sendo assim, o principal fator que influenciou na molhabilidade foi a caracterização química superficial da madeira.

Por sua vez, para o apodrecimento proporcionado pelo fungo *Trametes versicolor* verificou-se comportamentos distintos, de acordo com a espécie de madeira. Em que para as madeiras de *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*, pode-se observar que, em comum, as bandas relativas aos polissacarídeos (1430, 1375, 1330, 1170, 1135 e 900 cm^{-1}) e lignina (1510 e 1460 cm^{-1}) foram correlacionadas significativamente com a $\Delta\theta$, respectivamente, de modo positivo e negativo. No entanto, para *Simarouba amara*, em razão da pequena alteração da intensidade das bandas do *fingerprint* entre 1800 a 900 cm^{-1} , não foi possível constatar correlações significativas entre os parâmetros químicos e a $\Delta\theta$, exceto para a banda de 1600 cm^{-1} .

Com relação aos parâmetros colorimétricos, pode-se observar que apenas para a madeira de marupá submetida ao ataque do fungo de podridão branca não foi verificada qualquer correlação significativa com a $\Delta\theta$.

Quando analisada as demais relações entre madeiras e fungos apodrecedores, percebe-se que, em geral, as coordenadas b^* e L^* foram as principais variáveis explicativas do comportamento da molhabilidade da superfície deteriorada da madeira, pelos fungos de podridão branca e parda, respectivamente. Adicionalmente pode-se destacar a correlação negativa entre a $\Delta\theta$ e a ΔE para as madeiras atacadas pela podridão parda e de *Cariniana micrantha* deteriorada por podridão branca. Nesse sentido, pode-se constatar que com o escurecimento ($- L^*$), o menor amarelecimento ($+ b^*$) e a maior ΔE da madeira, a gota d'água apresentou um menor espalhamento.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados expostos e discutidos, acerca do monitoramento das alterações das propriedades tecnológicas das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* submetidas a ação dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, pode-se concluir que:

- A madeira de *Dipteryx odorata* apresentou maior resistência natural a biodeterioração, quando comparada *Simarouba amara* e *Cariniana micrantha*, de modo a proporcionar maior estabilidade das propriedades tecnológicas avaliadas.
- Dentre os fungos apodrecedores, *Gloeophyllum trabeum* proporcionou maiores alterações nas propriedades tecnológicas das madeiras avaliadas.
- O período de 8 a 12 semanas, de acordo com as normas de ensaio da ASTM 2017 e EN 113, não foi suficiente para caracterização da resistência natural, por meio da perda de massa, das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*.
- O período de tempo necessário para caracterização da resistência natural ao fungo apodrecedor *Trametes versicolor* foi de 20, 14 e 12 semanas, enquanto que para *Gloeophyllum trabeum* foi de 20, 18 e 14 semanas para as madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata*, respectivamente.
- As técnicas não destrutivas de colorimetria, DRIFT-MIR e molhabilidade foram eficazes para o monitoramento da deterioração das madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* e *Dipteryx odorata* por fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, bem como para diferenciação dos ataques proporcionados pela podridão branca e parda..
- Os principais parâmetros colorimétricos estimadores da resistência natural ao ataque dos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* foram a coordenada

b* e L*, respectivamente.

- O emprego da ΔE também auxiliou na estimativa da deterioração da madeira, em razão de suas correlações significativas com a perda de massa, dureza Rockwell e as intensidades das diferentes bandas de DRIFT-MIR relacionadas aos polissacarídeos e lignina.
- Com relação a DRIFT-MIR, o ataque do fungo *Trametes versicolor* proporcionou redução, de modo indistinto, na intensidade das bandas intrínsecas aos polissacarídeos e a lignina, exceto para a madeira de *Cariniana micrantha*. Para o fungo *Gloeophyllum trabeum*, apesar das intensidades de algumas bandas relacionadas a lignina serem decrescidas, a principal característica da podridão parda foi a redução da intensidade das bandas relacionadas aos polissacarídeos.
- Quando considerada a técnica da gota séssil, apesar do alto desvio padrão do ângulo de contato, as amostras apodrecidas apresentaram tendência de redução do espalhamento da gota d'água, proporcionando menor molhabilidade.
- A metodologia de ensaio de dureza Rockwell apresentou viabilidade para ser empregada como ferramenta auxiliar ou principal na caracterização da deterioração da madeira por fungos apodrecedores, sendo eficaz na predição dos estágios iniciais.

A partir dos resultados obtidos recomenda-se para futuros estudos:

- Estabelecimento de novos ensaios de apodrecimento acelerado com distintas madeiras brasileiras e fungos apodrecedores, de modo a proporcionar a formação de um banco de dados com a adequação do período de tempo necessário para execução de tais ensaios.
- Emprego de distintas técnicas não destrutivas na avaliação da durabilidade natural de madeiras submetidas ao apodrecimento acelerado em substituição ao método tradicional de determinação da perda de massa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H.S.; MAEDA, J.M.; LATORRACA, J.V.F.; MONTEIRO, M.B.O.; PEREIRA, R. P.W.; ABREU, F.A.; CARMO, J.F. Proposta de modificação da biossíntese da lignina como estratégia para correção de defeitos em madeira. **Silva Lusitana**, v.11, n.2, p.217-225, 2003.

ÅKERHOLM, M.; HINTERSTOISSER, B.; SALMÉN, L. Characterization of the crystalline structure of cellulose using static and dynamic FT-IR spectroscopy. **Carbohydr Res**, v.339, p.569-578, 2004.

ALMEIDA, N.A.; MENDES, L.M.; OKINO, E.Y.A.; GARLET, A.; MORI, F.A.; MENDES, R.F. Biodeterioração de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*). **Cerne**, v.18, n.1, p.17-26, 2012.

ALVES, M.V.S.; COSTA, A.F.; ESPIG, D.S.; VALE, A.T. Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores, em ensaio de laboratório. **Ciência Florestal**, v.16, n.1, p.17-26, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D 2017**: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. Philadelphia, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D 2244-09a**: Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. Philadelphia, 2009.

AMORIM, M.R.S.; RIBEIRO, P.G.; MARTINS, S.A.; DEL MENEZZI, C.H.S.; SOUZA, M.R. Molhabilidade e rugosidade superficial de 11 espécies de madeiras Amazônicas, **Acta Amazônica** (no prelo), 2012.

AMUSANT, N.; BEAUCHENE, J.; FOURNIER, M.; JANIN, G.; THEVENON, M.F. Decay resistance in *Dicorynia guianensis* Amsh.: analysis of inter-tree and intra-tree variability and relations with wood colour. **Annals of Forest Science**, v.61, p.373-380, 2004.

AMUSANT, N.; FOURNIER, M.; BEAUCHENE, J. Colour and decay resistance and its relationships in *Eperua grandiflora*. **Annals of Forest Science**, v.65, p.1-6, 2008.

ANDERSON, T.H. Anomalies in diffuse reflectance infrared spectra of wood and wood polymers. **Journal of Molecular Structure**, v.249, p.257-275, 1991.

ANDERSSON, S.; SERIMAA, R.; PAAKKARI, T.; SARANPAA, P.; PESONEN, E. Crystallinity of wood and the size of cellulose crystallites in Norway spruce *Picea abies*. **Journal of Wood Science**, v.49, p.531-537, 2003.

ARANTES, V.; MILAGRES, A.M.F. Relevância de compostos de baixa massa molar

produzidos por fungos e envolvidos na biodegradação da madeira. **Química Nova**, v.32, p.1586-1595, 2009.

ARAÚJO, H.J.B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas son manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. 184f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

ARCHER, K.; LEBOW, S. Wood preservation. In: WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer. p.297-338. 2006.

ARNOLD, M. Planing and sanding of wood surfaces – Effects on surface properties and coating performance. In: International Woodcoatings Congress, 7., 2010. Hampton, Reino Unido. **Proceedings...** Hampton: Coatings Technology Centre, 2010. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7989: Pastas celulósicas e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941: Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13999: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14660: Madeira – Amostragem e preparação para análise**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14853: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AYRILMIS, N.; DUNDAR, T.; CANDAN, Z.; AKBULUT, T. Wettability of fire retardant treated laminated venner lumber (LVL) manufactured from venners dried at different temperatures. **Bioresources**, v.4, p.1536-1544, 2009.

BAAR, J.; GRYC, V. The analysis of tropical wood discoloration caused by simulated sunlight. **Eur. J. Wood Prod.**, v.70, p.263-269, 2012.

BARKER, B.; OWEN, N.L. Identifying softwoods and hardwoods by infrared spectroscopy. **J. Chem. Ed.**, v.76, n.12, p.1706-1709, 1999.

BERG, J.C. Role of acid-base interactions in wetting and related phenomena. In: _____. **Wettability**. New York: Marcel Dekker, 1993, p.75–148.

BILLMEYER JUNIOR, F.W.; SATZMAN, M. **Principles of colour technology**. New York:

John Wiley, 1981. 240p.

BLANCHETTE, R.A. Screening wood decayed by white rot fungi for preferential lignin degradation. **Appl. Environ. Microbiol.** v.48, p.647-653, 1984

BLANCHETTE, R.A. Degradation of the lignocellulosic complex in wood. **Canadian Journal of Botany**, v.73, p.999-1010, 1995.

BRAGA, J.W.B. **Avaliação de figuras de mérito em calibração multivariada aplicada na determinação de carbamazepina por espectroscopia no infravermelho próximo e médio.** 2004. 153f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de Campinas, Campinas, 2004.

BRAZOLIN, S. Biodeterioração e preservação da madeira. In: OLIVEIRA, T. da S.; FIEDLER, N.C. NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**, Jerônimo Monteiro: UFES, 2007. p.343-365.

BRAZOLIN, S.; TOMAZELLO FILHO, M. Alterações na estrutura anatômica de madeira de *Tabebuia* sp. (Ipê) de torre de resfriamento de água, por fungos de podridão mole. **Scientia Florestalis**, v.55, p.97-105, 1999.

BRISSOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato.** 2008. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

BUCUR, V. **Acoustics of wood.** 2ª ed. Basileia: Birkhäuser. 2006. 393p.

BURTIN, P.; JAY-ALLEMAND, C.; CHARPENTIER, J.P.; JANIN, G. Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*J.nigra*, *J.regia* and hybrid *J.nigra* 23 × *J.regia*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. **Trees**, v.12, p.258-264, 1998.

BYRNE, L.E. **Aspects on wettability and surface composition of modified wood.** 2008. 53f. Tese (Doutorado em Materiais de Construção), KTH-Royal Institute of Technology, Stockholm, 2008.

CAMARGOS; J.A.A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais.** 1999. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n.71, p.30-41, 2001.

CANUTO, K.M.; SILVEIRA, E.R. Constituintes químicos da casca do caule de *Amburana cearensis* A.C. Smith. **Química Nova**, v.29. n.6, p.1241-1243, 2006.

CARNEIRO, M.E. **Classificação de lâminas de madeiras de *Pinus* spp por espectroscopia**

óptica. 2008. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CARNEIRO, J.S.; EMMERT, L.; STERNADT, G.H.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, G.F. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforschung**, v.63, p.767-772, 2009.

CAVALCANTE, M.S. **Deterioração biológica e preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1982. 40 p.

COLENCI, R.A. **Qualificação mecânica de madeiras para uso como dormente ferroviário**. 2002. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

COLENCI, R.A. **Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras para dormente ferroviário**. 2006. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

COLENCI, R.A.; BALLARIN, A.W. Utilização de dureza Brinell na avaliação de resistência mecânica de madeiras. **Energia na Agricultura**, v.23, n.1, p.88-99, 2008.

COLOM, X.; CARRILLO, F.; NOGUES, F.; GARRIGA, P.; Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. **Polymer Degradation and Stability**, v.80, p.543-549, 2003.

COLOR MODELS. CIELAB. Disponível em: www.colormodels.com/imatges/cielab_cat.jpg. Acessado em: 03/02/2011.

CORE, H.A.; COTE W.A.; DAY, A.C. **Wood structure and identification**. Syracuse: Syracuse University Press, 1979. 182p.

COSTA, A.F. da. **Processos práticos de tratamento de madeiras para o meio rural**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2003. 26p.

COSTA, M.A. **Avaliação de metodologias alternativas para a caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras**. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CRUZ, M.M.S. **Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela resina uréia-formaldeído**. 2006. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

CUI, W.; KAMDEM, D.P.; RYSPTRA, T. Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood. **Wood and Fiber Science**, v.46, p.289-290, 2004.

CURLING, S.; WINANDY, J.E.; CLAUSEN, C.A. An experimental method to simulate

incipient decay of wood by basidiomycete fungi. In: The International Research Group on Wood Preservation; Section 2, Test methodology and assessment; IRG/WP 00-20200, 31., 2000, Kona, USA. **Proceedings...** Kona: IRG, 2000. 13p.

CURLING, S.; CLAUSEN, C.A.; WINANDY, J.E. The effect of hemicellulose degradation on the mechanical properties of wood during brown rot decay. In: The International Research Group on Wood Preservation; Section 2, Test methodology and assessment; IRG/WP 01-20219, 32., 2001, Nara, Japan. **Proceedings...** Nara: IRG, 2001. 10p.

DAVIS, M.F.; SCHROEDER, H.A.; MACIEL, G.E. Solid state ^{13}C nuclear magnetic resonance studies of wood decay. II White rot decay of paper birch. **Holzforschung**, v.48, p.186-192, 1994.

DAVRIEUX, F.; ROUSSET, P.L.A.; PASTORE, T.C.M.; MACEDO, L.A.; QUIRINO, W.F. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. **Química Nova**, v.33, n.5, p.1093-1097, 2010.

DELLUS, V.; SCALBERT, A.; JANIN, G. Polyphenols and colour of Douglas-fir heartwood. **Holzforschung**, v.51, p.291-295, 1997a.

DELLUS, V.; SCALBERT, A.; MENARD, C.; MICHOT, V. PENHOAT, L.M. Douglas-fir polyphenols and heartwood formation. **Phytochemistry**, v.45, n.8, p.1573-1578, 1997b.

DENCE, C.W.; LIN, S.Y. **Methods in lignin chemistry**. New York: Springer Verlag, 1992. 578p.

DIROL, D.; DEGLISE, X. **Durabilité de bois et problèmes associés**. Paris: Hermès Science Publications, 2001. 415p.

DZIURZYŃSKI, A. Relation between heat of combustion of wood and absorbance of its mir spectrum in 1515 (1510) cm^{-1} band. **Folia Forestalia Polonica**, v.40, p.55-60, 2009.

EATON, R.A.; HALE, M.D.C. **Wood: decay, pests and protection**. Londres: Chapman e Hall, 1993. 546p.

EVANS, R.; NEWMAN, R.H.; ROICK, U.C. Changes in cellulose crystallinity during kraft pulping. Comparison of infrared, x-ray diffraction and solid state NMR results. **Holzforschung**, v.49, p.498-504, 1995.

FACKLER, K.; GRADINGER, C.; HINTERSTOISSER, B.; MESSNER, K.; SCHWANNINGER, M. Lignin degradation by white rot fungi on spruce wood shavings during short-time solid- state fermentations monitored by near infrared spectroscopy. **Enzyme and Microbial Technology**, v.39, p.1476-1483, 2006

FACKLER, K.; HINTERSTOISSER, B.; SCHWANNINGER, M.; GRADINGER, C.; SREBOTNIK, E.; MESSNER, K. Assessment of early stage fungal decay of wood by FT-

NIR-spectroscopy. In: COST E 53 Conference - Quality Control for Wood and Wood Products, 2007, Warsaw, Poland. **Proceedings...** Warsaw: Faculty of Wood Technology, 2007a. p.33-38.

FACKLER, K.; SCHWANNINGER, M.; GRADINGER, C.; HINTERSTOISSER, B.; MESSNER, K. Qualitative and quantitative changes of beech wood degraded by wood-rotting basidiomycetes monitored by Fourier transform infrared spectroscopic methods and multivariate data analysis. **FEMS Microbiology Letters**, v.271, n.2, p.162-169, 2007b.

FACKLER, K.; STEVANIC, J.S.; TERS, T.; HINTERSTOISSER, B.; SCHWANNINGER, M.; SALMÉN, L. Localisation and characterisation of incipient brown-rot decay within spruce wood cell walls using FT-IR imaging microscopy. **Enzyme Microb. Technol.**, v.47, n.6, p.257-267, 2010.

FAIX, O.; BREMER, J.; SCHMIDT, O.; STEVANOVIC, T. Monitoring of chemical changes in white-rot degraded beech wood by pyrolysis-gas chromatography and Fourier transform infrared spectroscopy. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.21, p.147-162, 1991.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Walter de Gruyter, 1984. 613p.

FERRAZ, A.; BAEZA, J.; RODRIGUEZ, J.; FREER, J. Estimating the chemical composition of biodegraded pine and eucalyptus wood by DRIFT spectroscopy and multivariate analysis, **Bioresource Technology**, v.74, n.3, p.201-212, 2000.

FREER, J.; RUIZ, J.; PEREDO, M.A.; RODRIGUEZ, J.; BAEZA, J. Estimating the density and pulping yield of *E. globulus* wood by DRIFT-MIR spectroscopy and principal components regression (PCR). **J. Chil. Chem. Soc.**, v.48, n.3, p.19-22, 2003.

GARCIA, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C.A. **Ensaio dos materiais**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GIERLINGER, N.; JACQUES, D.; GRABNER, M.; WIMMER, R.; SCHWANNINGER, M.; ROZENBERG, P.; PÂQUES, L.E. Colour of larch heart wood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. **Trees**, v.18, p.102-108, 2003.

GINDL, M.; REITERER, A.; SINN, G.; STANZL-TSCHEGG, S.E. Effects of surface ageing on wettability, surface chemistry and adhesion of wood. **Holz Roh Werkst.**, v.62, p.273-280, 2004.

GONÇALEZ, J.C. **Caracterization technologique de quatre espèces peu connues de la Forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. 1993. 444f. Thèse (Doctorat Technologie du Bois) - École Nationale du Gêne Rural des Eaux et des Forêts, Nancy, 1993.

GONÇALEZ, J.C.; JANIN, G.; SANTORO, A.C.S.; COSTA, A.F.; VALLE, A.T. Colorimetria quantitativa: Uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil**

Florestal, n.72, p.47-58, 2001.

GOOD, R.J. Contact angle, wetting, and adhesion: a critical review. In: MITTAL, K.L. **Contact angle, wettability and adhesion**. Utrecht: VSP, 1993, p.3-36.

GOODELL, B. Brown-rot fungal degradation of wood: our evolving view. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D.D.; SCHULTZ, T.P. **Wood deterioration and preservation: advances in our changing world**. Washington: ACS Symposium Series, 2003, p.97-118.

GOUVEIA, F.N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. 2008. 143f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GOUVEIA, F.N.; GARLET, A.; COSTA, A.F.; CORRÊA, A.A.; PRATES, E.B. Efeito de tratamentos térmicos sobre a variação dimensional e resistência biológica de madeiras Amazônicas. In: Congresso Ibero-Latinoamericano da Madeira na Construção - CIMAD 11, 2011, Coimbra, Portugal. **Anais...** Coimbra: Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, 2011. 6p.

GONZÁLEZ-PEÑA, M.M.; HALE, M.D.C. Rapid assessment of physical properties and chemical of thermally modified wood by mid-infrared spectroscopy. **Wood Science and Technology**, v.45, n.1, p.83-102, 2011.

GRAY, V.R. The wettability of wood, **Forest Prod. J.**, v.12, n.9, p.452-461, 1962.

GREEN, F.; HIGHLEY, T.L. Mechanism of brown-rot decay: paradigm or paradox. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.39, p.113-124, 1997.

GREEN, M.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.D.; PIITMAN, A.J. Reduced hardness as an indicator of susceptibility of timbers to attack by *Euophryum confine* Broun. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.53, p.33-36, 2004.

GURGEL, L.V.A. **Hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar: estudo cinético de sacarificação de celulose para produção de etanol**. 2010. 315f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

HAKKOU, M.; PÉTRISSANS, M.; ZOULALIAN, A.; GÉRARDIN, P. Investigation of the reasons for the increase of wood durability after heat treatment based on changes of wettability and chemical composition. In: European Conference on Wood Modification, 2., 2005, Göttingen, Germany. **Proceedings...** Göttingen: ECWM, 2005. p.36-46.

HARRINGTON, K.J.; HIGGINS, H.G.; MICHELL, A.J. Infrared spectra of *Eucalyptus regnans* F.Muell. and *Pinus radiata* D.Don. **Holzforschung**, v.18, p.108-113, 1964.

HASHEMI, S.K.H.; LATIBARI, A.J.; KHADEMI-ESLAM, H. Effect of boric acid treatment on decay resistance and mechanical properties of poplar wood. **Bioresources**, v.5, n.2, p.690-698, 2010.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames: Iowa State University, 1982. 459p.

HEIN, P.R.G. **Avaliação das propriedades da madeira de Eucalyptus urophylla por meio da espectroscopia no infravermelho próximo**. 2008. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

HENNINGSSON, B. Changes in the impact bending strength, weight and alkali solubility following fungal attack on birch wood. **Studia Forestalia Suecica**, n.41, p.1-21, 1967.

HERCZEG, A. Wettability of wood, **Forest Prod. J.**, v.15, n.11, p.49-505, 1965.

HIGHLEY, T.L. Influence of type and amount of lignin on decay by *Coriolus versicolor*. **Can. J. For. Res.**, n.12, p.435-438, 1982.

HIGHLEY, T.L.; MURMANIS, L.; PALMER, J.G. Micromorphology of degradation in western hemlock and sweetgum by the brown-rot fungus *Poria placenta*. **Holzforschung**, v.39, p.73-78, 1985.

HILLIS, W.E. **Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries**. New York: Academic Press, 1962. 513p.

HON, D.N.S.; SHIRAISHI, N. **Wood and cellulosic chemistry**. New York: Marcel Dekker Inc., 1991, 525p.

HOWELL, C.L. **Understanding wood biodegradation through the characterization of crystalline cellulose nanostructures**. 2006. 156f. Dissertação (Mestrado em Patologia Vegetal) – University of Maine, Maine, 2006.

HOWELL, C.; HASTRUP, A.C.S.; GOODELL, B.; JELLISON, J. Temporal changes in wood crystalline during degradation by brown rot fungi. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.63, p.414-419, 2009.

HUMAR, M. Correlation between modulus of elasticity, mass losses and FTIR spectra of copper treated decayed wood. In: The International Research Group on Wood Preservation; Section 1, Biology; IRG/WP 06-10580, 37., 2006, Tromsø, Norway. **Proceedings...** Tromsø: IRG, 2006. 12p.

HUNTER, R.S. **The measurement of appearance**. New York: J. Wiley, 348p. 1975.

ITG. **Glossário sobre cor e colorimetria**. Disponível em: http://www.itgcom.com/cor_colorimetria.html. Acessado em: 20/11/2010.

JÄÄSKELÄINEN, A.S.; NUOPPONEN, M.; AXELSSON, P.; TENHUNEN, M.; LÖIJA, M.; VUORINEN, T. Determination of lignin distribution in pulps by FTIR ATR spectroscopy. **Journal of Pulp and Paper Science**, v.29, p.328-331, 2003.

JANKOWSKY, I.P.; CHIMELO, J.P.; CAVALCANTE, A.A.; GALINA, I.C.; NAGAMURA, J.C.S. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 172p. 1990.

JESUS, M.A.; MORAES, J.W.; CARDIAS, M.F.C.; ABREU, R.L.S. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônicas em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia Forestalis**, v.54, p.81-92, 1998.

JESUS, M.A.; ABREU, R.L.S. Durabilidade natural da madeira de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). I Fungos. **Acta Amazonica**, v.32, n.4, p.663-675, 2002.

JOHNSON, R.E.; DETTRE, R. Wettability and contact angles. **Surface Colloid Sci.**, v.2, p.85-153, 1969.

JORDAN, D.L.; WELLONS, J.D. Wettability of dipterocarp veneers, **Wood Sci.**, v.10, n.1, p.22-27, 1977.

KÄÄRIK, A. Decomposition of wood. In: DICKINSON, C.H.; PUGH, G.J.F. **Biology of plant litter decomposition**. London: Academic Press, 1975. v.1, p.129-174.

KALNINS, M.A.; FEIST, W.C. Increase in wettability of wood with weathering. **Forest Products Journal**, v.43, n.2, p.55-57, 1993.

KARAMAN, I. **Prediction of extractives and lignin contents of anatolian black pine (*Pinus nigra arnold. var pallasiana*) and turkish pine (*Pinus brutia ten.*) trees using infrared spectroscopy and multivariate calibration**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado em Química) – School of Engineering and Science of İzmir Institute of Technology, İzmir, 2008.

KEEY, R. Colour development on drying. **Maderas: Ciencia y tecnología**, v.7, p.3-16, 2005.

KELLEY, S.S.; JELLISON, J.; GOODELL, B. Use of NIR and pyrolysis-MBMS coupled with multivariate analysis for detecting the chemical changes associated with brown-rot biodegradation of spruce wood. **FEMS Microbiol. Letters**, v.209, p.107-111, 2002.

KELLNER, R.; MERMET, J.M.; OTTO, M.; VALCARCEL, M. **Analytical chemistry: A modern approach to analytical science**. 2 ed. Weinheim: John Wiley, 2004. 1209p.

KISHINO, M.; NAKANO, T. Artificial weathering of tropical woods. Part 1: Changes in wettability. **Holzforschung**, v.58, p.552-557, 2004.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da madeira**. 3 ed. Curitiba: FUPEF, 2005. 86p.

KLUMPERS J.; SCALBERT, A.; JANIN, G. Ellagitannins in European oak wood: polymerization during wood ageing. **Phytochemistry**, v.36, p.1249-1252, 1994.

KOKUTZE, A.D.; STOKES, A.; BAILLÈRES, H.; KOKOU, K.; BAUDASSE, C. Decay resistance of Togolese teak (*Tectona grandis* L.f) heartwood and relationship with colour.

Trees, v.20, p.219-223, 2006.

KOLLMANN, F. **Tecnología de la madeira y sus aplicaciones**. Madrid: Gráficas Reunidas S.A., 1959. 674p.

KOWALISKI, P. **Vision et mesure de la couleur**. Masson: Paris, 256p. 1978.

LABBÉ, N.; HARPER, D.; RIALS, T. Chemical structure of wood charcoal by infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.3492-3497, 2006.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS (LPF). Banco de dados de madeiras brasileiras. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>. Acessado em: 02/05/2012.

LEE, L.H. **Fundamentals of adhesion**. New York: Plenum Press, 1991, 476p.

LELIS, A.T.; BRAZOLIN, S.; FERNANDES, J.L.G.; LOPEZ, G.A.C.; MONTEIRO, M.B.B.; ZENID, G.J. **Biodeterioração de madeiras em edificações**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 54p. 2001.

LEPAGE, E.S. Química da madeira. In: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1, p.69-97.

LIPTÁKOVA, E.; KÚDELA, J. **Analysis of the wood-wetting process**, *Holzforschung*, n.48, v.2, p.139-144, 1994.

LOPEZ, G.A.C; MILANO, S. Avaliação da durabilidade natural da madeira e de produtos usados na sua proteção. In: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.2, p.473-510.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009. 384p.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F.; ALENCAR, J.C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA, 1979. 245.

LUNZ, A.M. **Degradação da madeira de seis essências arbóreas causadas por Scolytidae (Coleóptera)**. 2001. 160f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2002.

MACHEK, L.; MILITZ, H.; SIERRA-ALVAREZ, R. The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests. **Wood Science and Technology**, v.34, p.467-472, 2001.

MADY, F.T.M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE-AM, 2000. 212p.

MAGALHÃES, W.L.E.; PEREIRA, J.C.D.; MUÑIZ, G.I.B.; KLOCK, U.; SILVA, J.R.M. Determinação de propriedades químicas e anatômicas de madeira com uso da reflexão difusa de infravermelho próximo. **Bol. Pesq. Fl.**, n.50, p.25-36, 2005.

MANTANIS, G.I.; YOUNG, R.A. Wetting of wood, **Wood Sci. Technol.**, v.31, p.339-353, 1997.

MARCELO, C.R. **Determinação da relação siringila/guaiacila em ligninas de Eucalyptus spp. por pirólise associada à cromatografia gasosa e à espectrometria de massas.** 2007. 78f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MARCONDES, E. **Resistência natural da madeira de duas espécies amazônicas em ensaios de campo.** 2011. 34f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2011.

MARTINS, D.A.L. **Caracterização de madeiras exóticas para acabamento com vernizes aquosos.** 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade do Porto, Porto, 2008.

MARTINS, S.A.; SANTOS, C.M.T.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A.A. Envelhecimento artificial acelerado por radiação ultravioleta de madeiras de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, v.41, n.1, p. 87-96, 2011.

MEDER, R.; GALLAGHER, S.; MACKIE, K.L.; BOHLER, H.; MEGLEN, R.R. Rapid determination of the chemical composition and density of *Pinus radiata* by PLS modeling of transmission and diffuse reflectance FTIR spectra. **Holzforschung**, v.53, n.3, p.261-266, 1999.

MELCHIADES, F.G.; BOSCHI, A.O. Cores e tonalidades em revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v.4, p.1-6, 1999.

MELO, J.E.; CORADIN, V.T.R.; MENDES, J.C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais...** São Paulo: SBS/SBSF, 1990. v.3, p.695-699.

MELO, R.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Comportamento reológico da madeira e derivados. **Ciência da Madeira**, v.1, n.1 p. 25-40, 2010.

MENDES, A.S.; ALVES, M.V. da S. **A deterioração da madeira e sua preservação.** Brasília: IBDF, 1988. 57p.

MITSUI, K.; TAKADA, H.; SUGIYAMA, M.; HASEGAWA, R. Changes in the properties of lignin-irradiated wood with heat treatment. **Holzforshung**, v.55, p.601-605, 2001.

MITTAL, K.L.; ANDERSON JUNIOR, H.R. **Acid-base interactions: relevance to adhesion science and technology.** Utrecht: VSP, 1991, 380p.

MOHEBBY, B. Attenuated total reflection infrared spectroscopy of white-rot decayed beech wood. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.55, p.247-251, 2005.

MOORE, A.K.; OWEN, N.L. Infrared spectroscopic studies of solid wood. **Appl. Spectroscopy Reviews**, v.36, p.65-68, 2001.

MORA, N.; ENCINAS, O. **Biodegradación de maderas**. Mérida: Centro Editorial Litorama. 111p. 2006

MORAIS, F.M. de; COSTA, A.F. da. Alteração da cor aparente de madeiras submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.1 p.44-50, 2007.

MORESCHI, J.C. **Biodeterioração da madeira**. Curitiba: FUPEF. 2005. 43p.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. 3ed. Curitiba: FUPEF, 2010. 177p.

MORI, F.A.; MENDES, L.M.; TRUGILHO, P.F.; CARDOSO, M.G. Utilização de Eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.3, p.396-400, 2003.

MORI, C.L.S.O.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; TRUGILHO, P.F.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v.11, n.2, p.137-146, 2005.

MORI, C.L.S.O.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; TRUGILHO, P.F.; GONÇALEZ, J.C.; OLIVEIRA, A.C. Colorimetria aplicada à determinação da cor da madeira de *Eucalyptus* spp. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9, Cuiabá, 2004. **Anais...** Cuiabá: SECOM, 2004. CD-ROM.

MOYA, R. MARÍN, J.D. Grouping of *Tectona grandis* (L.f.) clones using wood color and stiffness. **New Forests**, v.42, n.3, p.329-345, 2011.

NGUYEN, T.; JOHNS, W.E. The effect of aging and extraction on the surface free energy of Douglas Fir and Redwood. **Wood Sci. Technol.**, v.13, p.29-40, 1979.

NEUMANN, A.W.; GOOD, R.J. Techniques of measuring contact angles. In: GOOD, R.J.; STROMBERG, R.R. **Surface and colloid science**. New York: Plenum Press, 1979, p.47-51.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; CHANSON, B.; DÉTIENNE, P.; GRIL, J.; THIBAUT, B. Colorimetry of wood specimens from French Guiana. **Wood Science**, v.44, p.3-8, 1998.

NISHINO Y.; JANIN G.; YAMUDA Y.; KITANO D. Relations between colorimetric values and densities of sapwood. **Journal of Wood Science**, v.46, p.267-272, 2000.

- NUOPPONEN, M.H.; BIRCH, G.M.; SYKES, R.J.; LEE, S.J.; STEWART, D. Estimation of wood density and chemical composition by means of diffuse reflectance mid-infrared fourier transform (DRIFT-MIR) spectroscopy. **J. Agr. Food Chem.**, v.54, n.1, p.34-40, 2006.
- OKINO, E.Y.A.; PASTORE, T.C.M.; CAMARGOS, J.A.A.; ALVES, M.V.S.; SANTOS, P.H.O.; TEIXEIRA, D.E.; SANTANA, M.A.E. Color variation of rubberwood clones and cypress infected by *Gloeophyllum striatum* and *Phanerochaete chrysosporium*. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.63, p.41-45, 2009.
- OHKOSHI, M.; KATO, A.; SUZUKI, K.; HAYASHI, N.; ISHIHARA, M. Characterization of acetylated wood decayed by brown-rot and white-rot fungi. **Journal of Wood Science**, v.45, p.69-75, 1999.
- OLTEAN, L.; HANSMANN, C.; NEMETH, R.; TEISCHINGER, A. Wood surface discolouration of three Hungarian hardwood species due to simulated indoor sunlight exposure. **Wood Preserv.**, v.55, p.49-58, 2010.
- OLIVEIRA, A.M.F.; LELIS, A.T.; LEPAGE, E.S.; LOPEZ, G.A.C.; OLIVEIRA, L.C.S.; CAÑEDO, M.D.; MILANO, S. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1, p. 99-278.
- OLIVEIRA, L.F.C. de. Espectroscopia molecular. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n.4, p.24-30, 2001.
- OLIVEIRA, R.M. **Utilização de técnicas de caracterização de superfícies em madeiras tratadas termicamente**. 2009. 123f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- PAES, J.B.; MELO, R.R.; LIMA, C.R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. **Cerne**, v.13, n.2 p.160-169, 2007.
- PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**. n.20, p.54-62, 2007.
- PANDEY, K.K. A Study of chemical structure of soft and hardwood and wood polymers by FTIR spectroscopy. **Journal of Applied Polymer Science**, v.71, p.1969-1975. 1999.
- PANDEY, K.K. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. **Polym. Degrad. Stab.**, v.87, p.375-379, 2005.
- PANDEY, K.K. Correlation between changes in colour and chemical composition during photo-degradation of wood surfaces. In: The International Research Group on Wood Preservation; Section 4, Processes and properties; IRG/WP 05-40301, 36., 2005, Bangalore, India. **Proceedings...** Bangalore: IRG, 2005. 9p.
- PANDEY, K.K.; PITMAN, A.J. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**,

v.52, p.151-160, 2003.

PANDEY, K.K., NAGVENI, H.C. Rapid characterization of brown and white rot degraded chir pine and rubberwood by FTIR spectroscopy. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.65, n.6, 477-481, 2007.

PANDEY, K.K.; THEAGARAJAN, K.S. Analysis of wood surfaces by diffuse reflectance (DRIFT) and photoacoustic (PAS) Fourier transform infrared spectroscopic techniques. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.55, p.383-390, 1997.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4 ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. 722p.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.14, n.2, p.198-219, 2003.

PASTORE, T.C.M. **Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias Raman (FT-Raman), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L*a*b*)**. 2004. 117f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PASTORE, T.C.M.; BRAGA, J.W.B.; CORADIN, V.T.R.; MAGALHAES, W.L.E.; OKINO, E.Y.A.; CAMARGOS, J.A.A.; MUNIZ, G.I.B.; BRESSAN, O.A.; DAVRIEUX, F. Near infrared spectroscopy as a potential tool for monitoring trade of similar woods: discrimination of true mahogany, cedar, andiroba and curupixá. **Holzforschung**, v.65, p.73-80, 2011.

PAULA, J.E.; ALVES, J.L.H. **897 madeiras nativas do Brasil: anatomia – dendrologia – dendrometria – produção – uso**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2007. 438p.

PAYNE, C.J.; WOODWARD, S.; PETTY, J.A. Wettability of Stika spruce timber stored in Scottish sawmill yard. **Wood Science and Technology**, v.35, p.107-115, 2001.

PELLERIN, R.F.; ROSS, R.J. **Nondestructive evaluation of wood**. Madison: Forest Products Laboratory, 2002. 210p.

PUCETAITE, M. **Archaeological wood from the swedish warship vasa studied by infrared microscopy**. 2012. 25f. Projeto de Dissertação – Lund University, Lund, 2012.

RIBEIRO, M.A. **Influência dos fatores ambientais na durabilidade natural da madeira de Cariniana micrantha Ducke em ensaios de campo**. 2011. 46f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2011.

RIZZINI, C.R. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**. São Paulo: Blücher, 1978. 296p.

ROWELL, R.M. **Wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 473p.

RUIZ, J.; RODRIGUEZ, J.; BAEZA, J.; FREER, J. Estimating density and pulping yield of *E. globulus* wood: comparison of near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR). **J. Chil. Chem. Soc.**, v.50, n.3, p.565-568, 2005.

SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M.; MORAIS, S.A.L.; PILÓ-VELOSO, D. Ligninas - Métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, v.31, n.5, p.917-928, 2001.

SALMÉN, L.; BERGSTRÖM, E. Cellulose structural arrangement in relation to spectral changes in tensile loading FTIR. **Cellulose**, v.16, p.975-982, 2009.

SALMÉN, L.; OLSSON, A.; STEVANIC, J.S.; SIMONOVIC, J.; RADOTIC, K. Structural organisation of the wood polymers in the wood fibre structure. **Bioresources**, v.7, n.1, p.521-532, 2012.

SANDAK, A.; SANDAK, J.; ZBOROWSKA, M.; PRADZYNSKI, W.; NEGRI, M. Characterization of archeological oak (*Quercus* sp.) with mid and near infrared spectroscopy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOODEN CULTURAL HERITAGE: EVALUATION OF DETERIORATION AND MANAGEMENT OF CHANGE, Hamburg, 2009. **Proceedings...** Hamburg: WCH, 2009. 8p.

SANDAK, J.; SANDAK, A.; NEGRI, M. Mechanical testing of wood assisted by infrared spectroscopy and thermal imaging. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 11, Riva del Garda, 2010. **Proceedings...** Riva del Garda: WCTE, 2010. 5p.

SANTINI, E.J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. 125p.

SANTOS, M.F.P. **Desenvolvimento e validação de métodos de espectroscopia no infravermelho próximo e médio para caracterização de lamas de ETAR para uso agrícola**. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

SANTANA, M.A.E.; OKINO, E.Y.A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v.61, n.5, p.469-477, 2007.

SCHEIKL, M.; DUNKY, M. Measurement of dynamic and static contact angles on wood for the determination of its surface tension and the penetration of liquids into the wood surface. **Holzforschung**, v.52, p.89-94, 1998.

SCHMIDT, E.L.; FRENCH, D.W.; GERTJEJANSEN, R.O.; HERMANN, J.; HALL, H. Strength reductions in particleboard caused by fungi. **Forest Products Journal**, v.28 n.2, p. 26-31, 1978

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: biology, damage, protection and use**. Berlin: Springer-Verlag, 329p. 2006.

SCHWANNINGER, M.; HINTERSTOISSER, B.; GRADINGER, C.; MESSNER, K.; FACKLER, K. Examination of spruce wood biodegraded by *Ceriporiopsis subvemispora* using near and mid infrared spectroscopy. **Journal Near Infrared Spectroscopy**, v.12, p.397-409, 2004a.

SCHWANNINGER, M.; RODRIGUES, J.; PEREIRA, H.; HINTERSTOISSER, B. Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. **VibSpectrosc.**, v.36, p. 23-40, 2004b.

SCHWARZE, F.W.M.R. Resistance of fibre regions in wood of *Acer pseudoplatanus* degraded by *Armillaria mellea*. **Mycological Research**, v.104, p.1126-1132, 2000.

SHARRATT, V.; HILL, C.A.S.; KINT, D.P.R. Colour change monitoring of photodegradation in Scots pine (*Pinus sylvestris*) – a short term focus. In: The International Research Group on Wood Preservation; Section 4, Processes and properties; IRG/WP 09-40442, 40., 2009, Beijing, China. **Proceedings...** Beijing: IRG, 2009. 15p.

SILVA, C.A. **Análise da composição da madeira de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil): subsídios para o entendimento de sua estrutura e resistência a organismos xilófagos.** 2007. 132f. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Estrutural) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SILVA, G.B. **Colorimetria – propagação de erros e cálculo da incerteza de medição em resultados espectrofotométricos.** 2004. 93f. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, J.O.; PASTORE, T.C.M. Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, v.11, n.2, p.7-13, 2004.

SILVERSTEIN, R.M.; WEBSTER, F.X.; KIEMLE, D.J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1979. 299p.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications.** 2 ed. San Diego: Academic Press, 1993, 293p.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T.A. **Princípios de análise instrumental.** 5 ed. São Paulo: Bookman, 2002, 628p..

SOUZA, F.; TELES, R.F.; RIBEIRO, P.G.; CAMARGOS, A.M.; DEL MENEZZI, C.H.S. Resistência natural e alteração da cor da madeira de *Machaerium scleroxylon* Tul. submetida ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, v.38, p.449-457, 2010.

SOLAR, R.; KURJATKO, S.; MAMOŇ, M.; KOŠÍKOVÁ, B.; NEUSCHLOVÁ, E.; VÝBOHOVÁ, E.; HUDEC, J. Selected properties of beech wood degraded by brown-rot fungus *Coniophora puteana*. **Drvna Industrija**, v.58, p.3-11, 2007.

STACHURSKI, Z.H. Testing materials hardness science, technology and application. **Materials Forum**, v.30, p.118-125, 2006.

STANGERLIN, D.M.; GONÇALEZ, J.C.; GONÇALVES, R. SANTINI, E.J.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.; GATTO, D.A. Avaliação de tipos de ondas geradas por dois modelos de transdutores para determinação do módulo de elasticidade dinâmico. **Floresta**, v.40, n.4, p.691-700, 2010a.

STANGERLIN, D.M.; MELO, R.R.; GATTO, D.A.; CADEMARTORI, P.H.G.; CASTELO, P.A.R.; CALEGARI, L. Estimativa do módulo de elasticidade em painéis aglomerados por meio de emissão de ondas ultrassônicas. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.5, n.2, p.17-22, 2010b.

SULLIVAN, J.D. Color characterization of wood: color parameters of individual species. **Forest Products Journal**, v.17, n.8, p.25-29, 1967.

SUNDQVIST, B. Wood color control during kiln-drying. **Forest Products Journal**, v.52, n.2, p.30-37, 2002.

TOLVAJ, L.; FAIX, O. Artificial ageing of wood monitored by DRIFT spectroscopy and CIE $L^*a^*b^*$ color measurements. **Holzforshung**, v.49, p.397-404, 1995.

TOLVAJ, L.; MITSUI, K. Correlation between hue angle and lightness of light irradiated wood. **Polymer Degradation and Stability**, v.95, p.638-642, 2010.

TORELLI, N.; CUFAR, K. Comparative decay resistance of 43 Mexican tropical hardwoods. **Holz als Roh- und Werkstoff**, n.52, p.394-396, 1994.

TOVAR, D.A.; MOYA, R.; TENORIO, C. Wood color variation in undried and kiln-dried plantation-grown lumber of *Vochysia guatemalensis*. **Maderas: Ciencia y tecnología**, v.11, n.3, p.207-216, 2009.

TREVISAN, C. **Desgaste de órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas de preparo do solo: avaliação bibliográfica**. 2007. 76f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.2, n.1, p.94-111, 1996.

UÇAR, G.; MEIER, D.; FAIX, O.; WEGENER, G. Analytical pyrolysis and FTIR spectroscopy of fossil *Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) wood and MWLs isolated hereof. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.63, p.57-63, 2005.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Washington: U. S. Government Printing Office, 1987. 466 p.

UNSAI, O.; KORKUT, S.; ATIK, C. The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood. **Maderas: Cienc. Tecnol.**, v.2, p.145-152, 2003.

VALVERDE, J.C.; MOYA, R. Efectos de la intemperie en el color de dos acabados aplicados en madera de *Cedrela odorata* y *Carapa guianensis*. **Maderas: Ciencia y Tecnología**, v.12, n.3, p.171-180, 2010.

VAN OSS, C.J. **Interfacial forces in aqueous media**. New York: Marcel Dekker, 1994, 440p.

VETTER, R.E. Colorimetria aplicada em pesquisa de madeira. **Acta Amazônica**, v.18, n.1-2, p.179-188, 1988.

VIA, B.K.; FASINA, O.; PAN, H. Assessment of pine biomass density through mid-infrared spectroscopy and multivariate modeling. **Bioresources**, v.6, n.1, p.807-822, 2011.

VIANA, L.C. **Uso da espectroscopia no infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de Eucalyptus**. 2008. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

WÅLINDER, M. **Wetting phenomena on wood: factors influencing measurements of wood wettability**. 2000. 70f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira), KTH-Royal Institute of Technology, Stockholm, 2000.

WALKER, J.C.F. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure. In: _____. **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer. p.23-67. 2006

WIKIPÉDIA. **Interferômetro de michelson**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Interfer%C3%B4metro_de_Michelson. Acessado em: 03/02/2011.

WILCOX, W.W. Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. **Wood and Fiber Science**, v.9, n.4, p. 252-257, 1978

WINANDY, J.E.; MORRELL, J.J. Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of douglas-fir heartwood. **Wood and Fiber Science**, v.25, n.3, p.278-288, 1993.

WORRALL, J.J.; ANAGNOST, S.E.; ZABEL, R.A. Comparison of wood decay among diverse lignicolous fungi. **Mycologia**, v.89, n.2, p.199-219. 1997

ZABEL, R.A.; MORRELL, J.J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. Academic Press: California, 476p. 1992.

ZIGLIO, A.C. **Uso da capsaicina como preservante de madeiras ao ataque de fungo apodrecedor**. 2010. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 PERDA DE MASSA DAS MADEIRAS DE *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* E *Dipteryx odorata* SUBMETIDAS AO ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES.

Período (semanas)	<i>Simarouba amara</i>				<i>Cariniana micrantha</i>				<i>Dipteryx odorata</i>			
	TV		GT		TV		GT		TV		GT	
	PM (%)	CR	PM (%)	CR	PM (%)	CR	PM (%)	CR	PM (%)	CR	PM (%)	CR
0	0 a* (0)	MR	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR
1	1,63 a A (0,39)	MR	3,08 b B (0,53)	MR	0 a A (0)	MR	0,20 a B (0,09)	MR	0 a A (0)	MR	0,36 ab B (0,23)	MR
2	7,62 b A (0,96)	MR	19,20 c B (1,09)	R	3,55 a B (0,83)	MR	2,00 a A (1,10)	MR	0 a A (0)	MR	0,37 ab B (0,21)	MR
3	13,34 c A (2,11)	R	25,73 d B (2,59)	RM	9,64 b B (0,92)	MR	6,50 b A (1,59)	MR	0 a A (0)	MR	0 a A (0)	MR
4	16,89 d A (2,34)	R	29,57 e B (3,80)	RM	13,49 b B (1,69)	R	10,99 c A (0,99)	R	1,08 d A (0,35)	MR	1,20 bc A (0,29)	MR
6	24,83 e A (3,76)	RM	35,36 f B (2,28)	RM	21,52 c B (3,10)	R	17,55 d A (1,28)	R	0,98 cd A (0,43)	MR	1,14 bc A (0,26)	MR
8	35,86 f A (3,81)	RM	44,30 g B (5,57)	RM	28,37 d B (3,23)	RM	21,89 e A (2,92)	R	0,53 b A (0,48)	MR	1,73 c B (0,84)	MR
10	43,04 g A (5,30)	RM	47,09 h B (3,65)	NR	34,51 e B (3,52)	RM	29,37 f A (2,28)	RM	0,77 bc A (0,37)	MR	1,63 c B (0,55)	MR
12	51,16 h A (5,02)	NR	54,27 i A (3,06)	NR	42,48 f B (2,97)	RM	34,30 g A (3,44)	RM	1,24 de A (0,41)	MR	2,67 d B (1,34)	MR
14	56,17 i A (2,43)	NR	54,57 i A (4,01)	NR	49,24 g B (4,05)	NR	35,97 g A (4,46)	RM	1,39 e A (0,51)	MR	4,34 ef B (0,90)	MR
16	56,63 i A (6,28)	NR	57,91 j A (4,43)	NR	47,40 g A (4,76)	NR	43,88 h A (4,87)	RM	0,61 b A (0,28)	MR	4,19 ef B (1,34)	MR
18	62,05 j A (7,49)	NR	60,28 j A (4,62)	NR	48,75 g A (12,70)	NR	47,57 i A (6,36)	NR	0,95 bcd A (0,63)	MR	3,82 e B (1,69)	MR
20	69,41 k B (6,37)	NR	64,67 k A (3,50)	NR	48,75 g A (11,19)	NR	49,05 i A (6,38)	NR	1,10 de A (0,56)	MR	5,11 fg B (2,34)	MR

Em que: PM= perda de massa; CR= classes de resistência; MR= muito resistente; R= resistente; RM= resistência moderada; NR= não resistente; TV= *Trametes versicolor*; GT= *Gloeophyllum trabeum*. *Dentro de cada espécie de madeira, médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão.

APÊNDICE 2 ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA MADEIRA DE *Simarouba amara* SUBMETIDA AO ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES.

P	L*		a*		b*		C		h*	
	TV	GT	TV	GT	TV	GT	TV	GT	TV	GT
0	68,99 d* (1,19)	68,99 a (1,19)	4,50 a (0,34)	4,50 a (0,34)	22,82 a (1,33)	22,82 cde (1,33)	23,26 a (1,30)	23,26 def (1,30)	78,83 a (1,07)	78,83 a (1,07)
1	66,22 ab A (1,49)	62,35 b A (5,47)	6,83 b A (0,48)	4,97 ab B (0,50)	29,91 bc A (1,02)	23,51 abcde B (1,15)	30,68 bc A (1,07)	24,04 bcde B (1,16)	77,15 b B (0,68)	78,07 a A (1,09)
2	65,21 a A (0,75)	50,19 c B (4,13)	7,15 b A (0,36)	5,31 b B (0,65)	29,90 bc A (1,03)	24,46 abc B (2,00)	30,75 bcd A (1,02)	25,04 abcd B (2,00)	76,54 bc A (0,76)	77,71 a A (1,48)
3	71,72 e A (0,97)	48,75 c B (3,93)	7,25 b A (0,42)	5,24 b B (0,70)	29,60 b A (1,02)	23,61 abcde B (1,41)	30,48 b A (0,93)	24,19 abcde B (1,45)	76,20 c B (1,11)	77,50 a A (1,47)
4	70,62 e A (1,50)	47,08 cd B (5,85)	7,26 b A (0,46)	6,46 c A (0,99)	32,08 d A (1,12)	25,35 a B (2,84)	32,90 e A (1,08)	26,17 a B (2,88)	77,24 b A (0,94)	75,64 b B (1,89)
6	68,62 d A (0,99)	47,98 cd B (6,78)	8,35 c A (0,51)	6,77 c B (0,88)	30,96 cd A (1,35)	24,91 ab B (3,42)	32,07 cde A (1,38)	25,86 ab B (3,19)	74,90 d A (0,74)	74,45 bc A (3,51)
8	69,11 d A (3,38)	44,15 d B (5,65)	8,67 c A (0,57)	7,03 cd B (0,80)	30,91 bcd A (1,24)	23,33 bcde B (2,75)	32,11 de A (1,29)	24,38 abcde B (2,74)	74,33 def A (0,78)	73,12 c A (1,91)
10	66,41 ab A (1,04)	38,61 e B (6,71)	9,76 de A (0,48)	7,68 de B (1,03)	33,40 e A (1,44)	21,99 defg B (2,93)	34,80 f A (1,48)	23,33 def B (2,85)	73,71 f A (0,58)	70,54 d B (2,89)
12	67,94 cd A (0,96)	37,69 e B (2,75)	9,62 d A (0,47)	7,94 ef B (1,01)	34,76 f A (1,43)	22,45 def B (1,18)	36,07 g A (1,44)	23,84 cde B (1,25)	74,52 de A (0,66)	70,53 d B (2,21)
14	66,79 bc A (1,39)	39,34 e B (3,40)	10,10 def A (0,99)	8,91 g B (1,31)	34,58 f A (1,68)	23,75 abcd B (2,29)	36,03 g A (1,84)	25,38 abc B (2,43)	73,75 f A (1,02)	69,45 de B (2,35)
16	68,99 d A (1,34)	35,72 ef B (4,01)	10,22 ef A (1,01)	8,76 g B (0,61)	36,45 g A (2,16)	20,80 fg B (2,28)	37,86 h A (2,32)	22,59 ef B (2,22)	74,36 def A (0,85)	67,02 f B (2,08)
18	66,54 ab A (1,33)	37,64 e B (4,71)	10,07 def A (0,96)	8,63 fg B (0,79)	35,92 g A (1,44)	21,70 efg B (2,46)	37,32 h A (1,52)	23,37 def B (2,36)	74,35 def A (1,29)	68,16 ef B (2,55)
20	68,20 d A (1,72)	33,10 f B (6,41)	10,37 f A (0,84)	8,30 efg B (1,11)	35,65 fg A (1,21)	20,03 g B (4,04)	37,14 gh A (1,24)	21,70 f B (4,09)	73,80 ef A (1,26)	67,16 f B (2,41)

Em que: P= período (semanas); L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b*= coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; TV= *Trametes versicolor*; GT= *Gloeophyllum trabeum*. * Dentro de cada espécie de madeira, médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão.

APÊNDICE 3 ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA MADEIRA DE *Cariniana micrantha* SUBMETIDA AO ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES.

P	L*		a*		b*		C		h*	
	TV	GT	TV	GT	TV	GT	TV	GT	TV	GT
0	52,70 a*	52,70 a	7,94 def	7,94 c	15,14 a	15,14 cd	17,10 a	17,10 cd	62,31 a	62,31 bcde
	(1,42)	(1,42)	(0,44)	(0,44)	(0,83)	(0,83)	(0,93)	(0,93)	(0,58)	(0,58)
1	53,21 a A	50,20 a B	7,75 cde B	9,36 a A	21,06 b A	21,39 a A	22,45 b A	23,36 a A	69,76 b A	66,37 a A
	(3,07)	(2,40)	(0,39)	(0,88)	(1,02)	(1,34)	(0,98)	(1,56)	(1,27)	(0,92)
2	58,26 b A	42,86 b B	7,54 bcd B	9,37 a A	22,95 cd A	21,02 a B	24,17 c A	23,04 a A	71,85 cd A	65,86 a B
	(2,49)	(4,41)	(0,98)	(1,02)	(1,77)	(1,97)	(1,97)	(1,92)	(1,17)	(2,70)
3	59,00 b A	42,90 b B	8,25 ef A	8,94 ab A	23,59 de A	21,73 a A	25,01 c A	23,53 a A	70,76 bc A	67,58 a B
	(2,95)	(6,22)	(0,86)	(0,82)	(1,32)	(2,23)	(1,43)	(2,19)	(1,48)	(2,26)
4	64,39 c A	43,92 b B	5,86 a B	9,57 a A	21,77 bc A	22,69 a A	22,56 b B	24,65 a A	74,91 e A	67,14 a B
	(1,96)	(4,53)	(0,57)	(1,24)	(1,11)	(1,34)	(1,08)	(1,47)	(1,59)	(2,54)
6	67,23 de A	37,70 c B	6,03 a B	9,26 a A	24,49 e A	18,49 b B	25,24 c A	20,69 b B	76,21 fg A	63,38 bc B
	(0,91)	(2,75)	(0,95)	(0,58)	(2,39)	(1,03)	(2,48)	(1,07)	(1,55)	(1,37)
8	64,49 c A	33,54 d B	7,14 bc B	9,25 a A	27,28 f A	18,88 b B	28,21 d A	21,03 b B	75,33 efg A	63,80 b B
	(1,37)	(2,89)	(0,54)	(0,35)	(1,51)	(1,49)	(1,50)	(1,43)	(1,12)	(1,46)
10	64,19 c A	32,38 de B	8,53 f A	9,11 a A	27,57 f A	17,77 b B	28,88 d A	19,99 b B	72,85 d A	62,77 bcd B
	(2,52)	(2,41)	(1,16)	(0,74)	(1,89)	(1,45)	(1,96)	(1,35)	(1,96)	(2,59)
12	69,63 f A	29,33 ef B	5,98 a B	8,92 ab A	24,64 e A	16,03 c B	25,37 c A	18,36 c B	76,36 fg A	60,85 e B
	(1,54)	(2,31)	(0,53)	(0,80)	(1,29)	(1,49)	(1,31)	(1,54)	(1,06)	(2,16)
14	64,56 c A	32,15 de B	6,98 b B	7,68 cd A	28,64 f A	15,44 cd B	29,49 d A	17,27 cd B	76,28 fg A	63,37 bc B
	(1,38)	(3,22)	(0,32)	(0,37)	(1,98)	(1,42)	(1,96)	(1,31)	(0,77)	(2,23)
16	67,22 d A	26,89 fg B	7,74 cde A	8,19 bc A	30,21 g A	14,71 cde B	31,19 e A	16,86 cd B	75,63 efg A	60,65 e B
	(2,45)	(4,15)	(0,50)	(0,57)	(1,63)	(2,11)	(1,67)	(2,03)	(0,63)	(2,79)
18	67,27 de A	27,38 fg B	8,19 ef A	7,50 cd A	31,18 g A	13,91 de B	32,25 e A	15,82 de B	75,31 ef A	61,49 cde B
	(1,33)	(3,63)	(0,64)	(1,44)	(1,87)	(2,86)	(1,95)	(3,14)	(0,57)	(2,22)
20	69,08 ef A	26,16 g B	7,48 bcd A	7,18 d A	30,97 g A	13,21 e B	31,87 e A	15,04 e B	76,48 g A	61,37 de B
	(1,22)	(2,02)	(0,89)	(0,89)	(2,13)	(1,75)	(2,27)	(1,92)	(0,80)	(1,70)

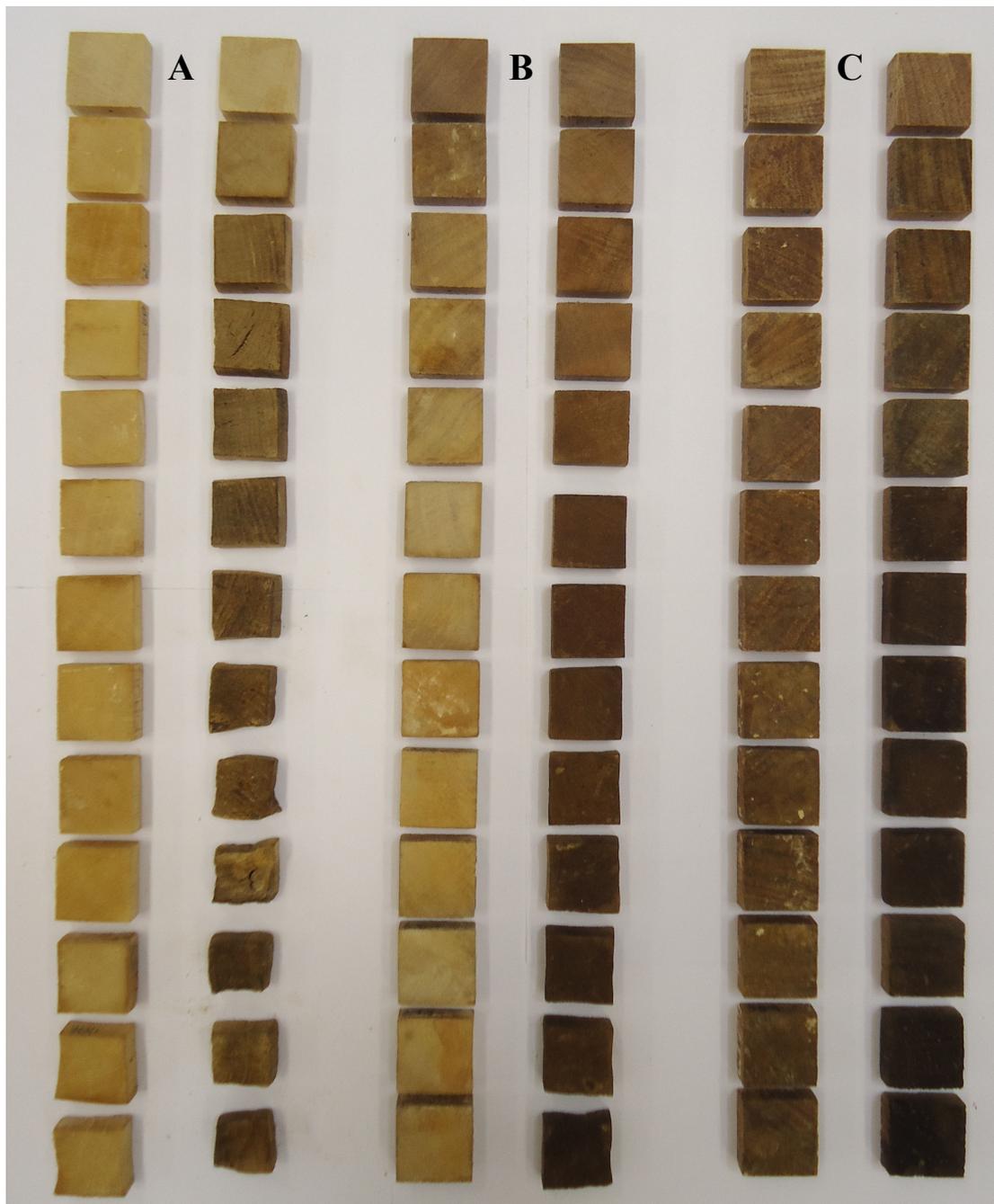
Em que: P= período (semanas); L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b*= coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; TV= *Trametes versicolor*; GT= *Gloeophyllum trabeum*. * Dentro de cada espécie de madeira, médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão.

APÊNDICE 4 ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA MADEIRA DE *Dipteryx odorata* SUBMETIDA AO ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES.

P	L*		a*		b*		C		h*	
	TV	GT	TV	GT	TV	GT	TV	GT	TV	GT
0	48,25 a* (4,19)	48,25 a (4,19)	9,09 d f g h (0,98)	9,09 a (0,98)	18,75 ab (0,89)	18,75 c (0,89)	20,90 a (0,76)	20,90 b (0,76)	64,06 bc (3,05)	64,06 b (3,05)
1	41,44 cd A (2,61)	45,73 ab A (5,24)	10,57 a A (0,48)	6,56 c d e f B (0,55)	18,22 a B (1,88)	21,33 a A (2,23)	21,13 a A (1,51)	22,35 a A (2,06)	59,44 a B (3,38)	72,63 a A (2,84)
2	41,19 d B (1,27)	44,06 bc A (3,16)	9,61 bc d e f A (0,69)	6,68 c d e f B (0,49)	18,62 ab B (0,97)	20,96 ab A (2,02)	20,97 a A (1,01)	22,01 ab A (2,03)	62,66 b B (1,77)	72,23 a A (1,28)
3	44,86 b A (1,50)	42,15 c B (2,58)	8,92 e f g h A (0,42)	6,78 bc d e B (0,59)	20,21 cd A (1,27)	19,70 bc A (1,26)	22,10 abc A (1,26)	20,85 bc A (1,33)	66,10 d e f B (1,12)	70,98 a A (1,14)
4	43,41 bc A (2,24)	42,18 c A (1,44)	9,42 bc d e f g A (1,33)	6,21 fg B (0,63)	20,49 c d e A (1,68)	18,50 c B (0,90)	22,59 bcd A (1,82)	19,48 c B (1,00)	65,29 c d e B (2,98)	71,42 a A (1,36)
6	41,76 cd A (1,92)	33,06 d B (3,79)	9,97 ab A (0,72)	7,23 b B (0,31)	20,84 c d e f A (1,30)	14,98 d B (2,03)	23,12 c d e A (1,29)	16,65 d B (1,90)	64,37 bcd A (1,84)	63,91 bc A (2,63)
8	41,00 d A (1,29)	28,88 e B (4,43)	9,68 bc d e A (0,62)	7,06 bc B (0,43)	21,15 c d e f A (1,14)	13,37 e B (2,87)	23,28 c d e A (1,03)	15,16 e B (2,68)	65,33 c d e A (1,97)	61,49 d B (4,07)
10	40,43 d A (1,33)	27,74 e f B (1,15)	8,50 h A (0,68)	6,98 bc d B (0,28)	19,87 bc A (1,10)	12,45 e B (0,90)	21,63 ab A (1,17)	14,28 e f B (0,89)	66,83 e f A (1,44)	60,58 d e B (1,35)
12	43,71 b A (1,25)	28,42 e B (0,80)	9,13 c d e f g h A (0,85)	6,33 e f g B (0,44)	21,54 d e f A (1,99)	11,92 e f B (0,44)	23,41 c d e A (2,12)	13,51 fg B (0,48)	67,00 e f A (0,96)	62,03 cd B (1,65)
14	43,85 b A (2,85)	25,21 fg B (2,25)	9,74 bc d A (0,91)	6,53 d e f B (0,57)	21,76 e f A (1,17)	11,00 fg B (0,84)	23,86 d e A (1,19)	12,81 gh B (0,88)	65,85 c d e f A (2,10)	59,19 e B (2,31)
16	45,23 b A (0,91)	25,06 fg B (1,57)	8,83 f g h A (0,44)	6,53 d e f B (0,57)	21,62 d e f A (1,45)	10,83 fg B (1,35)	23,37 c d e A (1,32)	12,66 gh B (1,43)	67,68 f A (1,78)	58,75 e B (1,49)
18	43,29 bc A (2,62)	25,03 fg B (1,56)	8,87 gh A (0,68)	6,27 e f g B (0,41)	21,72 e f A (1,90)	10,41 g B (0,92)	23,49 d e A (1,85)	12,16 h B (0,99)	67,68 f A (1,86)	58,85 e B (0,88)
20	43,65 bc A (1,45)	24,62 g B (2,77)	9,82 abc A (0,84)	5,96 g B (0,58)	22,07 f A (1,16)	9,89 g B (1,47)	24,17 e A (1,33)	11,57 h B (1,48)	66,01 d e f A (1,28)	58,61 e B (2,64)

Em que: P= período (semanas); L*= claridade; a*= coordenada vermelho-verde; b*= coordenada amarelo-azul; C= saturação da cor; h*= ângulo de tinta; TV= *Trametes versicolor*; GT= *Gloeophyllum trabeum*. * Dentro de cada espécie de madeira, médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão.

APÊNDICE 5 DETALHE DAS MADEIRAS DE *Simarouba amara* (A), *Cariniana micrantha* (B) E *Dipteryx odorata* (C) DURANTE O PERÍODO DE EXPOSIÇÃO AOS FUNGOS APODRECEDORES.

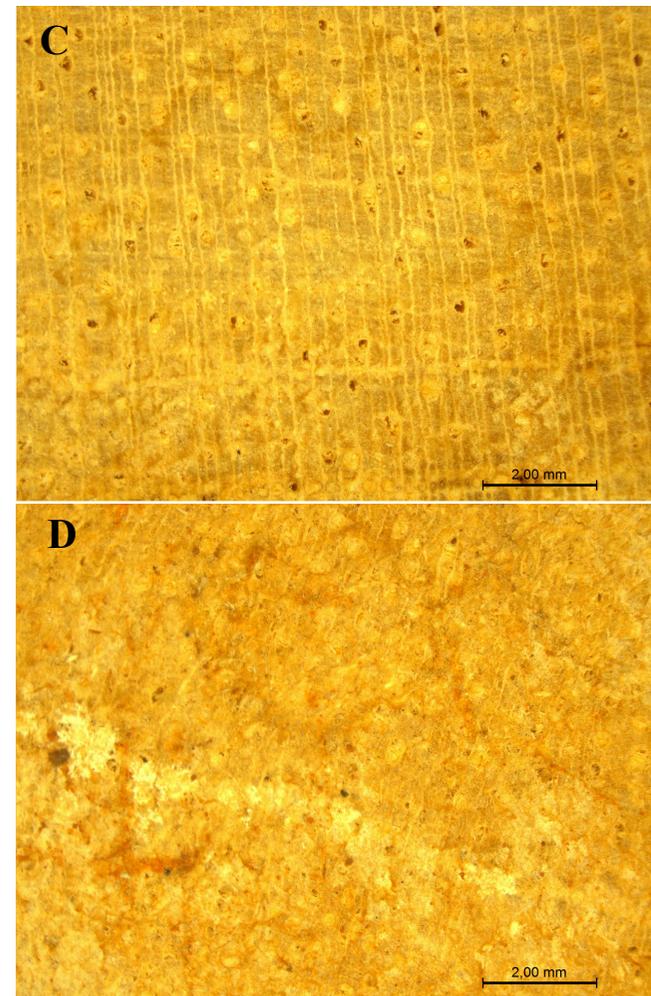
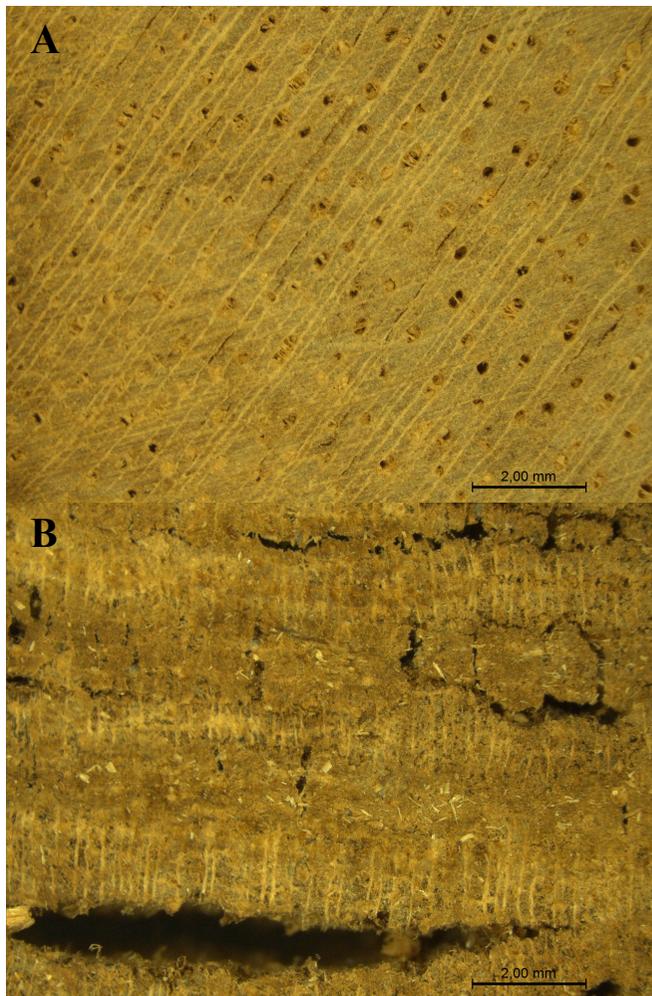


APÊNDICE 6 DUREZA ROCKWELL DAS MADEIRAS DE *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* E *Dipteryx odorata* SUBMETIDAS AO ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES.

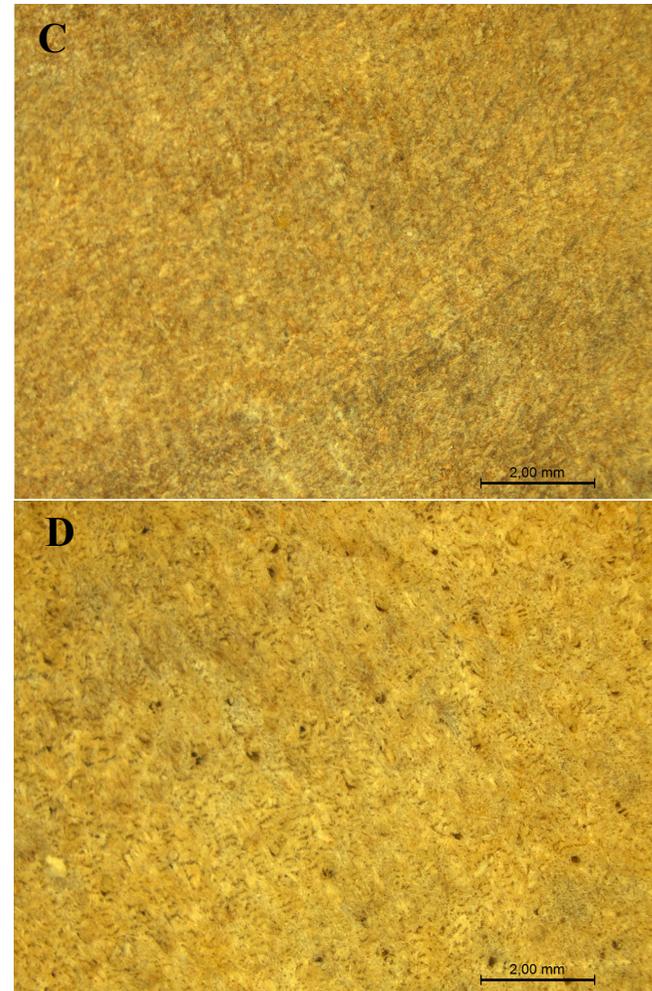
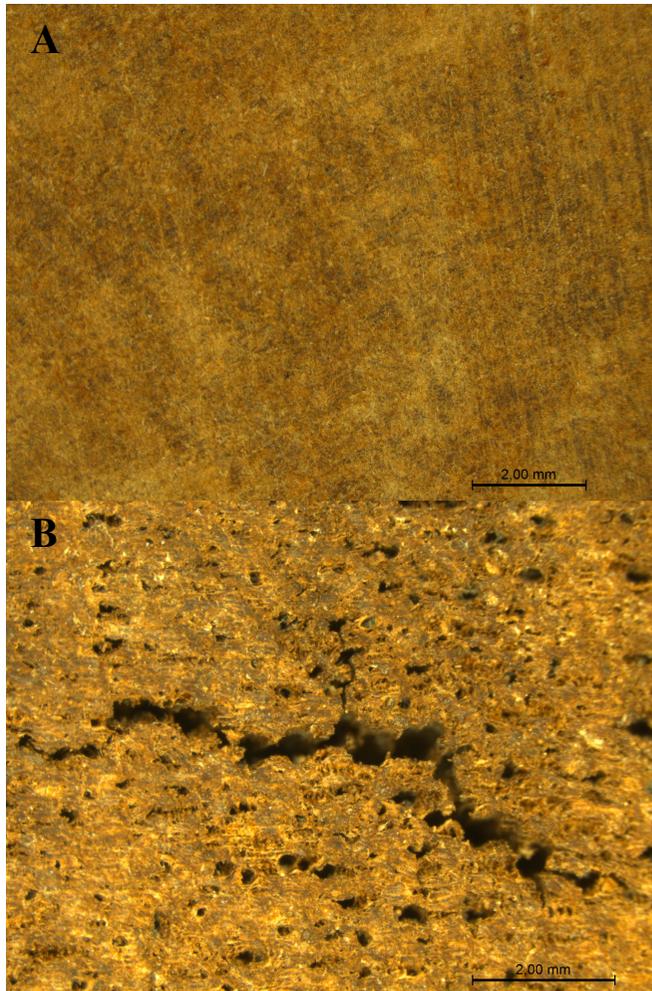
Período (semanas)	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>
0	59,67 a* (3,54)	59,67 a (3,54)	74,90 a* (3,81)	74,90 a (3,81)	146,03 a* (7,35)	146,03 a (7,35)
1	50,42 b B (9,27)	44,44 b A (4,54)	70,92 b A (4,38)	73,53 a A (4,57)	146,44 a A (8,64)	144,69 a A (8,33)
2	50,00 b B (9,36)	28,39 cd A (3,60)	70,75 b B (4,15)	66,11 b A (7,78)	143,56 ab A (8,89)	144,03 a A (10,92)
3	43,58 c B (7,58)	29,65 c A (4,61)	65,94 c A (6,81)	61,42 b A (11,21)	142,35 ab A (7,07)	140,60 a A (5,91)
4	37,53 d B (4,40)	26,76 cde A (4,03)	60,03 d B (6,56)	53,78 c A (10,21)	143,69 ab A (5,60)	139,66 a A (12,88)
6	33,81 d B (7,76)	25,78 de A (6,75)	45,86 e A (7,79)	43,89 d A (7,96)	142,64 ab A (10,91)	140,76 a A (9,30)
8	23,72 e A (6,57)	23,81 ef A (8,40)	39,92 f A (6,62)	38,83 de A (6,78)	139,31 b B (9,31)	119,33 b A (19,87)
10	20,00 ef A (5,73)	22,19 f A (6,38)	36,50 f A (6,38)	36,39 ef A (10,10)	138,67 b B (8,59)	110,94 bc A (22,83)
12	18,93 f B (5,74)	9,44 g A (10,39)	30,86 g A (5,22)	34,35 ef B (4,71)	132,37 c B (7,58)	113,67 bc A (11,72)
14	13,57 g B (10,42)	0 h A (0)	27,37 gh A (3,71)	31,91 f A (7,03)	129,38 c B (10,74)	101,97 cd A (27,35)
16	0 h A (0)	0 h A (0)	30,81 g B (3,66)	24,96 g A (15,83)	128,73 c B (10,36)	106,93 bcd A (16,21)
18	0 h A (0)	0 h A (0)	32,00 g B (6,10)	19,36 g A (12,89)	130,33 c B (12,76)	97,44 d A (34,15)
20	0 h A (0)	0 h A (0)	26,09 h B (6,25)	0 h A (0)	127,54 c B (8,41)	79,58 e A (22,40)

Em que: *Dentro de cada espécie de madeira, médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão.

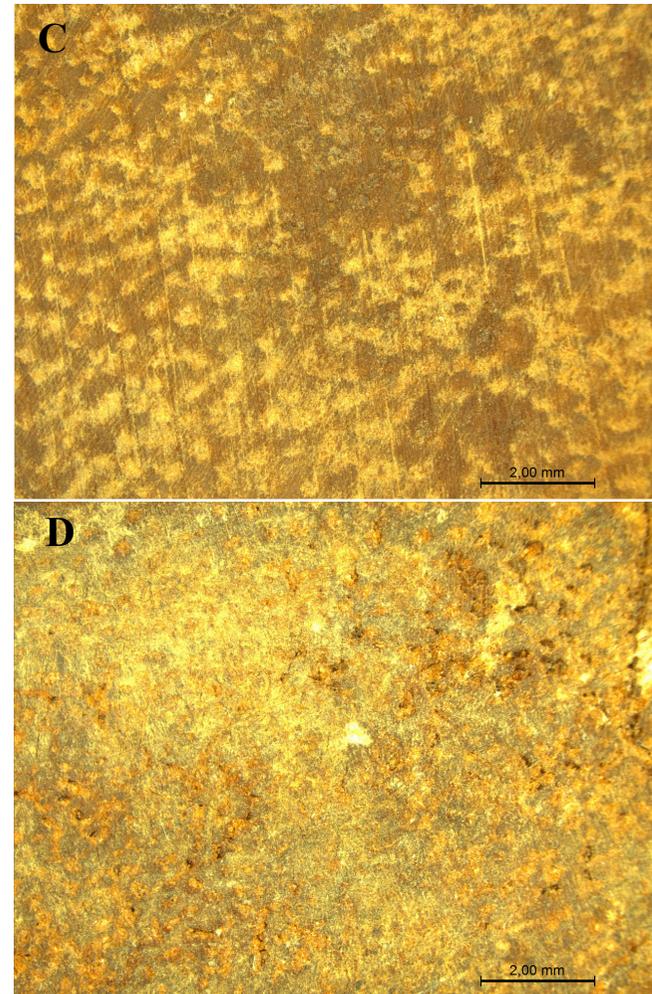
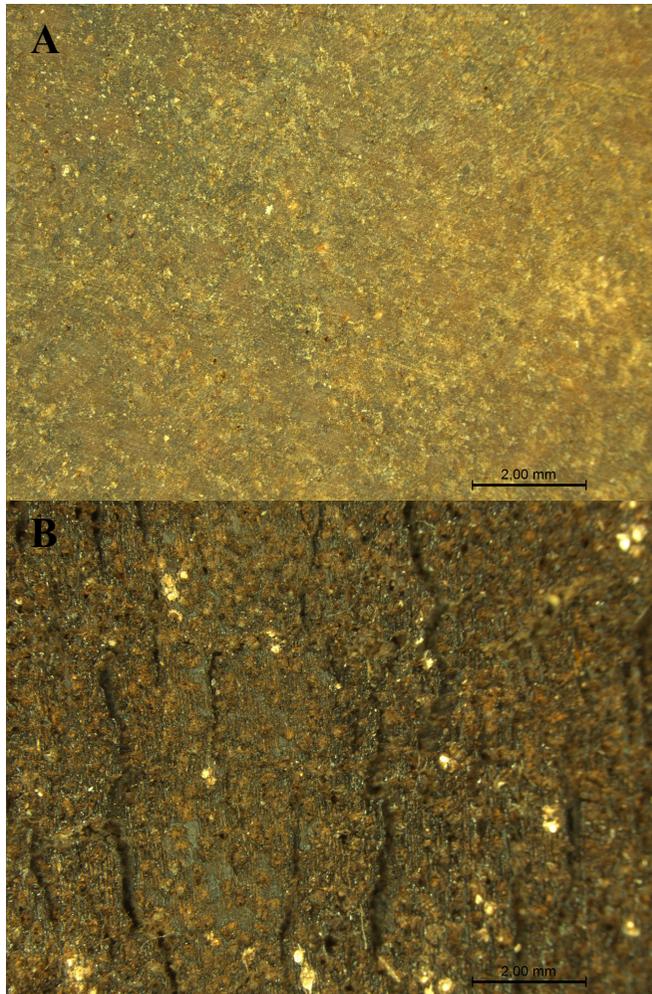
APÊNDICE 7 DETALHE DAS AMOSTRAS DE *Simarouba amara* APÓS O ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES: (A – PODRIDÃO PARDA – 1ª SEMANA); (B – PODRIDÃO PARDA – 20ª SEMANA); (C – PODRIDÃO BRANCA – 1ª SEMANA); (D – PODRIDÃO BRANCA – 20ª SEMANA).



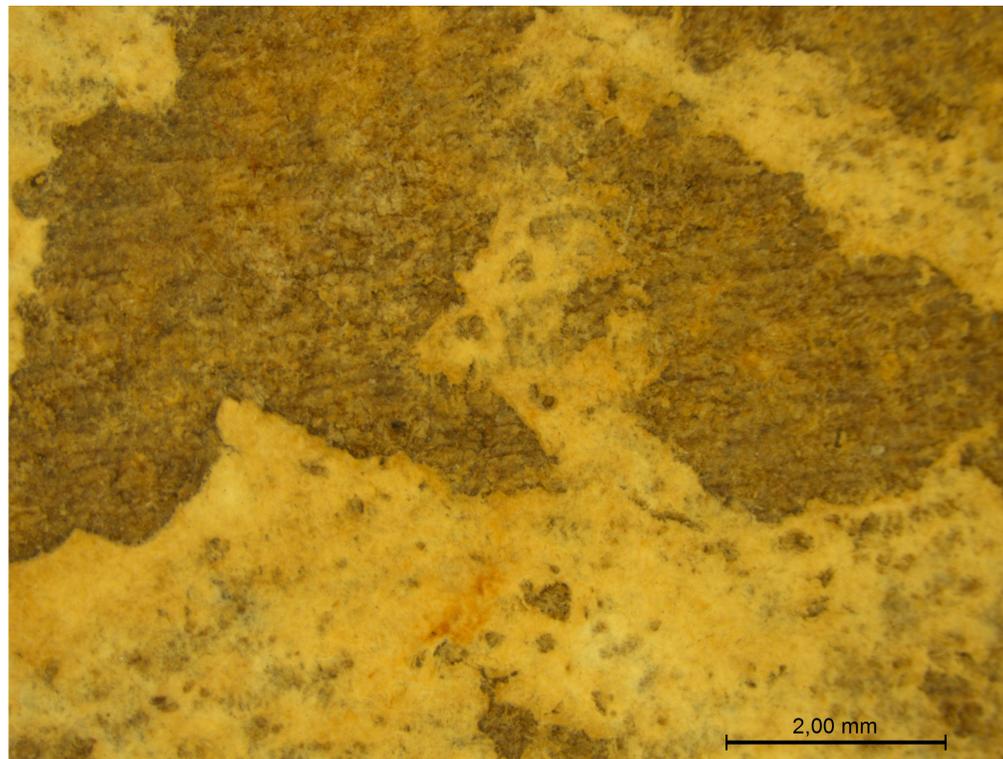
APÊNDICE 8 DETALHE DAS AMOSTRAS DE *Cariniana micrantha* APÓS O ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES: (A – PODRIDÃO PARDA – 1ª SEMANA); (B – PODRIDÃO PARDA – 20ª SEMANA); (C – PODRIDÃO BRANCA – 1ª SEMANA); (D – PODRIDÃO BRANCA – 20ª SEMANA).



APÊNDICE 9 DETALHE DAS AMOSTRAS DE *Dipteryx odorata* APÓS O ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES: (A – PODRIDÃO PARDA – 1ª SEMANA); (B – PODRIDÃO PARDA – 20ª SEMANA); (C – PODRIDÃO BRANCA – 1ª SEMANA); (D – PODRIDÃO BRANCA – 20ª SEMANA).



APÊNDICE 10 DETALHE DA MADEIRA DE *Cariniana micrantha* PARCIALMENTE RECOBERTA POR MICÉLIO DE FUNGO DE PODRIDÃO BRANCA.



APÊNDICE 11 VARIAÇÃO DOS ÂNGULOS DE CONTATO DA GOTA D'ÁGUA NAS MADEIRAS DE *Simarouba amara*, *Cariniana micrantha* E *Dipteryx odorata* SUBMETIDAS AO ATAQUE DOS FUNGOS APODRECEDORES.

Período	<i>Simarouba amara</i>		<i>Cariniana micrantha</i>		<i>Dipteryx odorata</i>	
	$\Delta\Theta$ -TV (°)	$\Delta\Theta$ -GT (°)	$\Delta\Theta$ -TV (°)	$\Delta\Theta$ -GT (°)	$\Delta\Theta$ -TV (°)	$\Delta\Theta$ -GT (°)
0	---	---	26,78 a*	26,78 a	6,12 a	6,12 a
			(5,22)	(5,22)	(1,79)	(1,79)
1	22,00 a A	2,00 a B	26,48 a A	4,30 b B	5,38 ab A	4,92 abc A
	(3,89)	(0,89)	(10,67)	(2,57)	(1,39)	(1,71)
2	18,43 ab A	1,42 b B	16,20 b A	3,62 bc B	4,25 abcd A	3,98 bc A
	(4,14)	(0,44)	(5,06)	(2,49)	(1,49)	(1,86)
3	12,45 bcde A	1,63 ab B	12,65 bc A	2,12 cd B	4,68 abc A	3,95 bc A
	(4,29)	(1,02)	(6,57)	(1,88)	(2,03)	(1,06)
4	9,55 cde A	0,60 c B	7,57 cd A	1,38 d B	2,15 ef B	5,33 ab A
	(5,02)	(0,36)	(2,29)	(1,03)	(1,21)	(3,57)
6	7,77 de A	0,30 c B	6,98 cd A	1,50 cd B	2,65 def A	3,30 cd A
	(5,53)	(0,22)	(2,29)	(0,96)	(1,65)	(1,40)
8	7,07 de A	0,32 c B	17,58 b A	0,52 d B	3,60 bcde A	1,82 de A
	(3,46)	(0,23)	(16,09)	(0,23)	(2,57)	(1,38)
10	7,57 de A	0,65 c B	3,02 d A	0,53 d B	2,93 cdef A	1,83 de A
	(2,58)	(0,50)	(2,40)	(0,21)	(1,44)	(1,28)
12	8,77 cde A	0,42 c B	0,32 d A	0,33 d A	3,63 bcde A	0,78 e B
	(3,59)	(0,24)	(0,18)	(0,25)	(2,31)	(0,58)
14	13,67 bcd A	0,63 c B	4,83 d A	0,27 d B	2,28 def A	0,85 e B
	(4,08)	(0,37)	(4,04)	(0,10)	(1,23)	(0,59)
16	5,17 e A	0,47 c B	3,80 d A	0,30 d B	2,22 ef A	0,53 e B
	(4,04)	(0,38)	(2,75)	(0,24)	(1,51)	(0,24)
18	15,10 abc A	0,45 c B	2,48 d A	0,30 d B	2,78 cdef A	0,72 e B
	(11,09)	(0,22)	(2,01)	(0,15)	(1,80)	(0,16)
20	15,60 abc A	0,48 c B	1,50 d A	0,22 d B	1,58 f A	0,52 e B
	(12,08)	(0,30)	(1,19)	(0,08)	(1,06)	(0,16)

Em que: $\Delta\Theta$ -TV= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo *Trametes versicolor*; $\Delta\Theta$ -GT= Variação do ângulo de contato da gota d'água proporcionado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*.
*Dentro de cada espécie de madeira, médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste LSD Fischer. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão.