

## Calibrações por meio da técnica da espectroscopia no infravermelho próximo para teor de extrativos totais, de lignina total e holocelulose usando espectros obtidos na madeira sólida

Calibrations using the technique of near infrared spectroscopy for content of extractives, lignin total and holocellulose using spectra obtained in solid wood

Carlos Rogério Andrade<sup>1</sup>

Paulo Fernando Trugilho<sup>2</sup>

Alfredo Napoli<sup>3</sup>

Rogério Quinhones<sup>4</sup>

José Tarcísio Lima<sup>5</sup>

### Resumo

O objetivo desse trabalho foi obter curvas de calibrações por meio da técnica de espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) para as propriedades teor de extrativos totais, lignina total e de holocelulose, usando espectros das faces radial, tangencial e transversal da madeira sólida. Foi utilizado um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla* pertencente à empresa V&M Florestal, localizada no município de Paraopeba (MG). O híbrido tinha sete anos de idade e estava plantado em espaçamento de 3m x 3m. Os corpos-de-prova foram retirados ao longo de todo o fuste. O equipamento utilizado foi um espectrômetro da marca Bruker modelo MPA-R. Os espectros foram adquiridos na gama de 800 a 1.500 nm, em modo de reflexão difusa. Os modelos foram ajustados pelo método PLS-1. Foi utilizado o método da validação cruzada com pré-tratamentos de primeira e segunda derivada e remoção do espalhamento de luz. Pelos resultados conclui-se que: De maneira geral, os maiores valores de correlação foram obtidos a partir da média das faces tangencial, transversal e radial; as melhores calibrações foram obtidas quando aplicou-se o pré-tratamento de segunda derivada; melhores resultados: extrativos totais  $r = 0,66$  e  $RPD = 1,3$ ; teor de lignina total  $r = 0,70$  e  $RPD = 1,5$  e teor de holocelulose  $r = 0,66$  e  $RPD = 1,4$ .

**Palavras-chave:** Espectroscopia no infravermelho próximo; eucalipto; faces da madeira.

1 MSc.; Engenheiro Florestal; Professor da Universidade Federal de Goiás, UFG; Endereço: Rodovia, BR 364, km 192, *Campus* Jataí, Unidade Jatobá, no 3800, CEP: 75.801-815, Jataí, Goiás, Brasil; E-mail: cra.florestal@yahoo.com.br

2 Pós-doutorado; Engenheiro Florestal; Professor Associado II do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; E-mail: trugilho@dsf.ufla.br.

3 Pós-doutorado; Ciências dos Materiais; Pesquisador CIRAD (France) - BIOS Department - Montpellier - France; E-mail: alfredo.napoli@cirad.fr;

4 MSc.; Engenheiro Florestal; Doutorando em Ciência e Tecnologia da Madeira na Universidade Federal de Lavras, MG; E-mail: rquinhon@yahoo.com.br.

5 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor Associado II do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, MG; Bolsista de produtividade em Pesquisa do CNPq; E-mail: .jtlima@dcf.ufla.br.

Recebido para publicação em 14/04/2010 e aceito em 11/04/2011

## Abstract

The purpose of this study was to obtain calibration curves using Near Infrared Spectroscopy Technique (NIRS) for the determination of total extractive content, total lignin, and holocellulose, using the radial face, tangential, and transversal spectra of solid wood. We used a natural hybrid of *Eucalyptus urophylla* owned by V & M Florestal, located in Paraopeba city (MG). The hybrid was seven years old and was planted in 3m x 3m space. The soils-proof was taken throughout the shaft. The used equipment was a Bruker spectrometer brand model MPA-R. The spectra were acquired in the range from 800 to 1,500 nm in diffuse reflection mode. The models were fitted by PLS-1 method. We used the cross-validation method, the first and second derivative pre-treatment, and removal of scattered light. For the results it is ended that: Generally, the largest correlation values were obtained starting from the average of the tangential faces, transversal and radial; the best calibrations were obtained when the pre-treatment of derivative second was applied; better results: total extractive  $r = 0,66$  and  $RPD = 1,3$ ; content of total lignin  $r = 0,70$  and  $RPD = 1,5$  and holocelulose content  $r = 0,66$  and  $RPD = 14..$

**Key words:** Near Infrared Spectroscopy; eucalyptus; wood faces.

## Introdução

O estudo das propriedades químicas da madeira comumente é realizado por meio de uma avaliação destrutiva dos corpos-de-prova, processo que demanda um tempo relativamente grande (alguns dias), que vai desde o preparo dos corpos-de-prova até a obtenção dos valores finais da propriedade investigada. Destaca-se também que a constante exposição a soluções químicas voláteis e corrosivas, como álcool tolueno e ácido sulfúrico, por exemplo, pode ser prejudicial à saúde de quem realiza as análises e também ao meio ambiente de maneira geral.

Uma alternativa à tradicional avaliação destrutiva seria o uso de métodos não destrutivos para avaliar as propriedades da madeira. Segundo Oliveira e Sales (2002),

os métodos não destrutivos apresentam vantagens em relação aos métodos convencionais para a caracterização da madeira, como possibilidade de avaliar a integridade estrutural de uma peça sem a extração de corpos-de-prova, maior rapidez para analisar uma grande população e versatilidade para se adequar a uma rotina padronizada numa linha de produção. A avaliação não destrutiva é uma importante ferramenta para a caracterização da madeira, podendo ser utilizada, pelas indústrias, para melhorar o controle de qualidade dos processos por meio de uma maior uniformidade na matéria-prima e em seus derivados (ERIKSON et al., 2000).

Dentre as diversas maneiras de se avaliar uma amostra de forma não destrutiva temos a chamada técnica de espectroscopia no infravermelho próximo ou NIRS. Esta

técnica baseia-se na radiação eletromagnética que se estende de 750 nm a 2.500 nm (SHEPPARD et al., 1985). A espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) surgiu como uma técnica de avaliação não invasiva para materiais orgânicos, sendo largamente utilizada para o controle da qualidade e o monitoramento de processos em diversas indústrias, inclusive de base florestal (BAILLÈRES et al., 2002).

Os primeiros trabalhos nos quais foi utilizada a técnica NIRS foram realizados para investigar as propriedades químicas da madeira, como o teor de celulose (WRIGHT et al., 1990; WALLBACKS et al., 1991). Outros estudos demonstraram também a possibilidade de investigar o teor de lignina (BRINKMAN et al., 2002) teor de celulose (MICHELL, 1995) e densidade básica (VIA et al., 2003). Viana (2008) verificou que a técnica NIRS mostrou-se eficiente para a predição das propriedades químicas de seis diferentes clones de *Eucalyptus* aos seis anos de idade.

Segundo Pasquini (2003), esta técnica possui vantagens em relação às tradicionais, já que é rápida, não invasiva, adequada para uso em linha de produção, exige preparo mínimo da amostra e pode ser aplicada em qualquer material que contenha, em suas moléculas, principalmente, ligações CH, O-H, N-H, S-H ou C=O. Outra vantagem é que a técnica NIRS, em conjunto com métodos quimiométricos, fornece calibrações robustas, ou seja, os parâmetros do modelo não se alteram de maneira significativa quando novas amostras são acrescentadas ou retiradas do conjunto de calibração (GELADI; KOWALSKI, 1986). O objetivo da calibração é produzir e encontrar um modelo que melhor represente ou relacione os dados espectrais com os dados obtidos pelo método de referência (PANTOJA,

2006). Para Pasquini (2003), é importante que a amostra em estudo represente todo o conjunto de variabilidade existente na população e que as medições de referência sejam realizadas com exatidão.

Após o modelo ser calibrado para uma determinada propriedade, a acurácia de calibração deve ser testada em um processo denominado validação. A validação do modelo pode ser realizada de duas maneiras, a saber: validação externa e validação cruzada (MARTENS; NAES, 1996).

Na validação cruzada, as amostras para validação são as mesmas utilizadas no teste de calibração. Algumas amostras são separadas, um modelo é construído com as amostras restantes e a previsão é feita em relação às amostras separadas inicialmente. O procedimento é realizado para cada amostra ou subconjunto de amostras, até que todo o conjunto de dados iniciais seja explorado. A validação cruzada é recomendada quando se trabalha com um pequeno número de amostras.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi obter calibrações por meio da técnica espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) para as propriedades teor de extrativos totais, lignina total e de holocelulose, usando espectros das faces radial, tangencial e transversal da madeira sólida de um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*.

## **Material e métodos**

### **Material biológico e amostragem**

Foi utilizado um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*, com sete anos de idade, plantado em espaçamento três por três metros, proveniente de um plantio comercial da empresa V&M Florestal, localizada no

município de Paraopeba, Estado de Minas Gerais, Brasil.

A árvore foi dividida em seções no sentido longitudinal e transversal do tronco, de forma a contemplar variações em ambas as direções. O fuste foi cortado em cinco toretes de aproximadamente cinco metros cada, procedendo-se, em seguida, à retirada dos corpos-de-prova que foram utilizados para aquisição dos espectros. Para este trabalho foram utilizadas 28 amostras (corpos-de-prova) de madeira sólida, com dimensões de 2,5cm x 2,5cm x 10cm de comprimento, provenientes de uma única árvore. Os corpos-de-prova utilizados foram retirados em regiões da base, do meio e do topo do fuste e também nas regiões próximas à medula, intermediária e próxima à casca.

### **Aquisição dos espectros no NIRS**

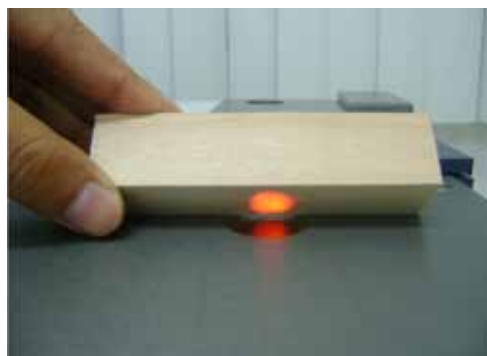
O equipamento utilizado para a coleta dos espectros foi um espectrômetro da marca

Bruker modelo MPA-R (Figura 1), com apoio do programa computacional Opus versão 5.5. Este equipamento utiliza a transformada de Fourier e possui uma esfera de integração. A aquisição dos espectros foi realizada na gama de 800 a 1.500 nm, em modo de reflexão difusa, com resolução de  $8\text{ cm}^{-1}$  e 64 *scans* por leitura. Cada espectro representa uma média das 64 varreduras na amostra.

Os corpos-de-prova foram mantidos em sala climatizada até a estabilização da umidade. O teor de umidade médio dos corpos-de-prova, (umidade base seca), antes da coleta dos espectros foi de aproximadamente 13%. A aquisição espectral foi realizada em sala climatizada, com temperatura média de  $18^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa próxima de 57%. Os espectros foram obtidos em três diferentes pontos do corpo-de-prova, sendo uma leitura obtida na face radial (Rd), uma leitura na face tangencial (Tg) e uma leitura na face transversal (Tr). As leituras foram realizadas no centro de cada



**Figura 1.** Espectrômetro Bruker utilizado na aquisição dos espectros



**Figura 2.** Corpo-de-prova sob a célula de leitura do NIR

face do corpo-de-prova conforme ilustrado na figura 2.

### **Análises químicas da madeira**

Após a aquisição dos espectros nas três faces (Transversal, Radial e Tangencial), dos 28 corpos-de-prova, estes foram passados em plaina elétrica para obtenção de pequenas lascas de madeira e, em seguida, estas foram moídas em moinho tipo Willey e a serragem obtida passada por peneiras de 40 e 60 *mesh*, respectivamente. A serragem que ficou retida na peneira de 60 *mesh* foi homogeneizada e deixada em sala climatizada (temperatura de  $\pm 20^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $\pm 60\%$ ), até estabilização da umidade.

As análises químicas foram realizadas para determinar os teores de extrativos totais, lignina total (lignina insolúvel + lignina solúvel) e holocelulose (celulose mais polioses). Para determinação do teor de extrativos totais foi utilizada a norma ABTCP M 3/69 (1974), para determinação dos teores de lignina Klason (GOMIDE; DEMUNER, 1986), sendo o teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico determinado por meio da espectrofotometria, conforme a equação descrita por Golschimid (1971), e a holocelulose determinada por diferença, sendo dada pela equação: Holocelulose =  $100 - (\text{extrativos totais} - \text{lignina total})$ .

### **Parâmetros de calibração, validação e seleção dos modelos**

Utilizou-se, como ferramenta para as calibrações, o programa “The Unscrambler®”, na versão 9.1. Os modelos foram ajustados pelo método PLS-1 regressão dos mínimos quadrados parciais, com um máximo de 10 variáveis latentes tendo, o número adotado

para cada modelo, sido o valor sugerido pelo programa estatístico.

Foi aplicado o método da validação cruzada e aplicados os pré-tratamentos de primeira e segunda derivada dos espectros, calculadas pelo próprio programa “The Unscrambler®”, utilizando o algoritmo proposto por Savitzky e Golay (1964). Foram adotados polinômios de segunda ordem com janela espectral de sete variáveis. Adotou-se também, como terceiro pré-tratamento, correção do fator multiplicativo do sinal (MSC) para amenizar possíveis interferências nos dados espectrais dos corpos-de-prova. A detecção de *outliers* foi feita tomando como parâmetro o gráfico de resíduos de *student*. A escolha dos modelos seguiu os seguintes critérios: (1º) maior coeficiente de correlação do modelo na validação cruzada ( $r$ ); (2º) maior relação desempenho do desvio; (3º) menor número de variáveis latentes utilizadas na calibração e (4º) erro padrão da validação cruzada SECV.

O programa “The Unscrambler®” fornece, ao final das calibrações, os valores de correlação, de variáveis latentes e o erro padrão da validação cruzada. O valor de RPD (Relação Desempenho do Desvio) foi calculado dividindo-se o desvio padrão dos valores de referência pelo erro padrão da validação cruzada.

A relação de desempenho do desvio (RPD) é uma forma de verificar a precisão de uma calibração, que é dada pela razão entre o desvio padrão dos valores de referência e o erro padrão da predição ou validação cruzada (SEP ou SECV) (WILLIAMS; SOBERING, 1993).

### **Resultados e Discussão**

Embora na literatura diversos autores já tenham relatado as diferentes formas

de variação das propriedades químicas da madeira ao longo do fuste, sendo observadas variações tanto no sentido longitudinal quanto no sentido radial, neste trabalho, os valores para as propriedades teor de extrativos totais, lignina insolúvel, lignina solúvel, lignina total e holocelulose foram obtidos a partir da média dos resultados de cada um dos 28 corpos-de-prova, sendo o resultado final considerado como valor médio para cada propriedade e para toda a árvore pesquisada. Desta forma, não foi alvo deste trabalho elucidar as variações das propriedades ao longo do fuste, como já realizado com propriedade por diversos outros autores, mas sim, obter calibrações por meio da técnica NIRS para três propriedades químicas da madeira a partir de espectros adquiridos nas faces transversal, tangencial e radial utilizando como amostra a madeira sólida.

### Análises químicas da madeira

Na tabela 1, apresenta-se o resumo dos valores encontrados para a análise química da madeira, por clone e propriedade analisada. Estão apresentados também os valores médios, máximos, mínimos, coeficiente de variação e o número de amostras utilizadas para cada clone.

Os valores observados neste trabalho estão de acordo com os encontrados, por exemplo, por Bassa et al. (2007) que trabalharam com híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com sete anos de idade e encontraram, para as propriedades teor de lignina total, extrativos e holocelulose, valores de 28,5%, 2,5% e 68,9%, respectivamente. Gomide et al. (2005) encontraram, para clones de *Eucalyptus*, teores de lignina total variando de 27,5% a 31,7% e de 64,5% a 70,2%, para holocelulose e de 1,7% a 4,1%, para teores de extrativos. Trugilho et al. (2001) trabalharam com *E. grandis* e *E. saligna*, com sete anos de idade e encontraram teores de extrativos variando de 4,9% a 7,8%, enquanto Vital et al. (1994), trabalhando com *E. camaldulensis* com 33 meses de idade, encontraram teores de extrativos variando de 1,9% e 6,4%, respectivamente.

### Calibrações para propriedades da madeira

Foram realizadas calibrações e validações pelo método *Full Cross Validation* para as três diferentes faces, radial (Rd), tangencial (Tg) e transversal (Tr). Em seguida, foi feita uma média dos espectros

**Tabela 1.** Resumo da análise química da madeira do lote de calibração

	Ex	Li	Ls	Lt	Ho
N	28	28	28	28	28
Média (%)	5,2	24,5	3,7	28,2	66,6
CV (%)	14,6	7,9	11,3	6,3	3,2
Max (%)	6,6	27,4	4,5	31,0	70,4
Min (%)	4,1	20,4	3,0	24,5	62,9

Nota: Ex- teor de extrativos totais; Li – teor de lignina insolúvel; Ls – teor de lignina solúvel; Lt – lignina total; Ho – teor de holocelulose; n – número de amostras; CV – coeficiente de variação (%); Max. – máximo (%); Min. – mínimo (%).

para as três faces e novas calibrações foram obtidas. A intenção, neste caso, era saber se os valores das correlações para a média dos espectros seriam maiores ou menores do que as correlações feitas de forma separada por cada face.

A tabela 2 apresenta o resumo das melhores calibrações obtidas para as propriedades químicas da madeira.

Pela tabela 2 é possível notar que as propriedades químicas analisadas apresentaram diferentes comportamentos em relação às faces de leitura. O teor de extrativos apresentou melhor valor de correlação quando os espectros foram obtidos na face Tr, com  $r = 0,64$  e  $RPD = 1,3$ . Já o teor de lignina total apresentou melhor valor de correlação a partir dos espectros obtidos na face Tg. O teor de lignina solúvel apresentou melhor valor para a face Rd e, enquanto que o teor de lignina insolúvel e holocelulose apresentaram

melhor valor de correlação e RPD para a média das três faces. Observa-se também que, de maneira geral, o pré-tratamento de segunda derivada foi o que proporcionou os melhores valores de correlação para a maioria das propriedades analisadas.

Segundo Schimleck et al. (2003), para utilizações no campo das ciências florestais, um RPD maior que 1,5 é considerado satisfatório para leituras e previsões preliminares (*screenings*) e para seleção de árvores em programas de melhoramento.

Hein (2008) aplicou a técnica NIRS para avaliar a densidade básica de madeira de *Eucalyptus* e verificou que as faces axiais e radiais da madeira forneceram calibrações precisas, tendo a face radial fornecido o modelo de melhor desempenho. O mesmo autor avaliou a madeira de *Eucalyptus urophylla* com 14 anos de idade e encontrou, para as calibrações a partir do pó fino da

**Tabela 2.** Resumo das calibrações NIRS para as propriedades químicas da madeira

Face	Prop.	Trat.	r	VL	Outlier	SECV	RPD	N
Rd	Ex	1d	0,47	2	0	0,6	1,3	28
	Lt	2d	0,64	2	0	1,3	1,4	28
	Ho	2d	0,62	2	0	1,6	1,4	28
Tg	Ex	2d	0,43	1	0	0,7	1,1	28
	Lt	2d	0,70	4	0	1,2	1,5	28
	Ho	2d	0,60	2	0	1,7	1,3	28
Tr	Ex	MSC	0,64	4	2	0,6	1,3	28
	Lt	2d	0,67	6	0	1,3	1,4	28
	Ho	2d	0,60	6	0	1,7	1,3	28
Média	Ex	osd	0,66	5	0	0,6	1,3	28
	Lt	2d	0,69	5	0	1,3	1,4	28
	Ho	2d	0,66	5	0	1,6	1,4	28

Nota: Prop. – propriedade; Trat. – tratamento; r – correlação da validação cruzada; VL – número de variáveis latentes; Outlier – número de amostras descartadas; SECV - erro padrão da validação cruzada; RPD – relação de desempenho do desvio; n – número total de amostras utilizadas; Rd – radial; Tg – tangencial; Tr – transversal; Média – média dos espectros nas 3 faces; Ex – extrativos; Lt - lignina total; Ho – holocelulose; osd – dados espectrais originais; 1d – primeira derivada; 2d – segunda derivada; MSC – correção do fator multiplicativo do sinal.

madeira, alto coeficiente de determinação da validação cruzada ( $R^2_{cv}$ ), 0,92 e relação desempenho do desvio, 1,9. Para o teor de lignina total, um coeficiente de determinação da validação cruzada de (0,84) e RPD = 2,6.

Viana (2008) avaliou espectros da face transversal do corpo-de-prova feito com madeira sólida de clones de *Eucalyptus* com três anos de idade e encontrou um coeficiente de correlação da validação cruzada ( $R_{cv}$ ) variando entre 0,79 e 0,94 e RPD variando entre 1,7 e 2,9. Para o teor de extrativos totais, a autora encontrou  $R_{cv}$  variando de 0,85 a 0,93 e RPD entre 1,8 e 3,6. Baillères et al. (2002), investigando o teor de extrativos de híbridos *E. urophylla* x *E. grandis*, calibraram um modelo com oito componentes principais, RPD de 2, SEC=0,29 e SECV=0,35. Meder et al. (1999), estudando madeiras de *Pinus radiata*, calibraram modelos para prever o teor de extrativos com R de 0,85 e RMSEP de 0,59. São resultados bem melhores que os encontrados no presente trabalho. As razões para este fato podem estar relacionadas à forma de amostragem adotada e à utilização de apenas uma árvore, o que levaram a um pequeno número de amostras a serem avaliadas.

## Conclusões

Conclui-se que as calibrações feitas para as propriedades teor de extrativos totais, teor de lignina total e holocelulose, a partir de espectros obtidos nas faces transversal, tangencial e radial da madeira sólida não apresentaram um padrão definido de variação

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. Normas técnicas ABCP. São Paulo, ABTCP, 1974. BAILLÈRES, H.; DAVRIEUX, F.;

para as propriedades químicas analisadas. Este fato pode ter ocorrido devido ao restrito número de amostras utilizadas (vinte e oito), influenciando, por conseguinte, nos baixos valores de correlação e RPD encontrados.

O melhor resultado encontrado foi para o teor de lignina total, com  $r = 0,70$  e RPD = 1,5, utilizando espectros da face tangencial.

As melhores calibrações para as propriedades químicas foram obtidas quando se aplicou o pré-tratamento de segunda derivada.

De madeira geral, as calibrações feitas a partir da média dos espectros obtidos nas três faces da madeira sólida, proporcionaram um pequeno aumento nos valores de correlação da validação cruzada.

O estudo das propriedades químicas da madeira sólida a partir da técnica da espectroscopia no infravermelho próximo é bastante promissor e necessita ser constantemente aprimorado, para assim, continuar contribuindo de forma única com toda a pesquisa de base florestal no país e no mundo. Recomenda-se que, em trabalhos futuros, leve-se em consideração um número maior de amostras e que a validação seja do tipo externa e não a validação cruzada.

## Agradecimentos

O autor agradece à empresa V&M Florestal, pelo apoio técnico e financeiro e também à Universidade Federal de Lavras, por ter liberado os laboratórios para a realização das análises.



HAM-PICHAVANT, F. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a eucalyptus breeding program. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 59, n. 5/6, p. 479-490. 2002.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G.; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids®. **Science Forest**, Piracicaba, n. 75, p. 19-29, set. 2007

BRINKMANN, K.; BLASCHKE, L.; POLLE, A. Comparison of different methods for lignin determination as a basis for calibration of near-infrared reflectance spectroscopy and implications of lignoproteins. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 28, n. 12, p. 2483-2501, dez. 2002.

ERIKSON, R. G.; GORMAN, T. M.; GREEN, D. W.; GRAHAN, D. Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodgepole pine, ponderosa pine and grand fir trees from northern Idaho. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 7/8, p.59-65, 2000.

GELADI, P.; KOWALSKI, B. R. Partial Least-Squares Regression: a tutorial. **Annales de Chimie Analytique et de Chimie Appliquee**, Paris, v. 185, n. 1, p. 1-17, jan. 1986.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate calibration**. New York: J. Wiley, 1996. 155 p.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Qualidade de las maderas de clones de Eucalyptus de Brasil para la producción de celulosa kraft. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON EUCALYPTUS PULP, 2., 2005, Concepción. **Anais...** Concepción: Universidad de Concepción, 2005. p.1-17.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, ago. 1986.

GOLDSCHIMID, O. **Ultraviolet spectra**. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. Lignins: occurrence, formation, structure and reactions. New York: J. Wiley, 1971. p. 241-266.

HEIN, P. R. G. **Avaliação e controle genético das propriedades tecnológicas da madeira de Eucalyptus urophylla por meio de espectroscopia no infravermelho próximo**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2008.

MEDER, R.; GALLAGHER, S.; MACKIE, K. L.; BÖHLER, H.; MEGLEN, R. R. Rapid determination of the chemical composition and density of *Pinus radiata* by PLS modelling of transmission and diffuse reflectance FTIR Spectra. **Holzforschung**, Berlin, v. 53, n. 3, p. 261-266, may/jun 1999.

MICHELL, A. J. Pulpwood quality estimation by near-infrared spectroscopic measurements on eucalypt woods. **Appita**, Victoria, v. 48, n. 6, p. 425-428, mar. 1995.

OLIVEIRA, F. G. R.; SALES, A. Ultrasonic measurements in brazilian hardwood. **Materials Research**, São Carlos, v. 5, n. 1, p. 51-55, 2002.

PANTOJA, P. A. **Aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo na caracterização da carga de petróleo para o processo de destilação atmosférica**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, mar./abr. 2003.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least-squares procedures, **Analytical Chemistry**, Washington, v. 36, n. 8, p. 1627-1639, apr. 1964.

SCHIMLECK, L. R.; DORAN, J. C.; RIMBAWANTO, A. Near infrared spectroscopy for cost-effective screening of foliar oil characteristics in a *Melaleuca cajuputi* breeding population. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 9, p. 2433-2437, may 2003.

SHEPPARD, N.; WILLIS, H. A.; RIGG, J. C. Names, symbols, definitions, and units of quantities in optical spectroscopy. **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v. 57, n. 1, p. 105-120, jan. 1985.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; AKIRA, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, dez. 2001.

VIA, B. K.; SHUPE, T. F.; GROOM, L. H.; STINE, M.; SO, C. H. Multivariate modelling of density, strength and stiffness from near infrared spectra for mature, juvenile and pith wood of longleaf pine (*Pinus palustris*). **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, Sussex, v. 11, n. 4, p. 365-378, 2003.

VIANA, L. C. **Uso da espectroscopia no infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de eucalyptus**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

VITAL, B. R.; ALMEIDA, J. de; VALENTE, O. F.; PIRES, I. E. Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 47, n. 1, p. 22-28, jan. 1994.

WALLBACKS, L.; EDLUND, U.; NORDEN, B.; BERGLUND, I. Multivariate characterization of pulp using <sup>13</sup>C NMR, FTIR and NIR. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 74, n. 10, p. 201-206, oct. 1991.

WILLIAMS, P. C.; SOBERING, D. C. Comparison of commercial Near Infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, Sussex, v. 1, n. 1, p. 25-33, jan. 1993.

WRIGHT, J. A.; BIRKETT, M. D.; GAMBINO, M. J. T. Prediction of pulp yield and cellulose content from wood samples using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 73, n. 8, p. 164-166, aug. 1990.