



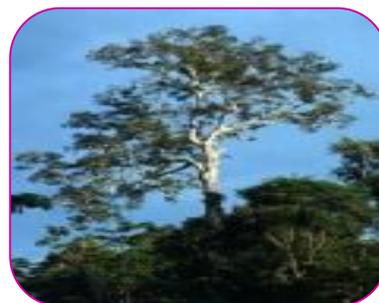
CALIBRAÇÃO POR INFRAVERMELHO PRÓXIMO (FT-NIR) DE SETE ESPÉCIES DA FAMÍLIA MORACEAE DA REGIÃO CENTRAL E OESTE DO AMAZONAS – BRASIL

Claudia Eugenio Da Silva¹, Niro Higuchi²,
Claudete Catanhed Do Nascimento³,
Suely De Souza Costa⁴, Marta Martins Brasil⁵

¹ Aluna de doutorado da Pós-graduação de Botânica do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
^{2,3,4} Pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA.

RESUMO

Os espectros lidos pelo FT-NIR são modelos preditivos nesta pesquisa, são métodos não destrutivo corroboram na eficácia para fins da caracterização da madeira, é uma ferramenta inovadora no mercado da qualidade da madeira. A primeira área, as amostras foram coletadas na Amazônia Central, oriundas da área de implantação da hidroelétrica de Balbina no Município de Presidente Figueiredo do Estado do Amazonas. A segunda área, as amostras foram de estudo de árvores caídas naturalmente de manejo florestal procedente do Oeste do Amazonas, sendo os municípios de Benjamin Constant, Atalaia do Norte e Reserva Extrativista do Jutáí no Alto Rio Solimões. O estudo visa testar a calibração do FT-NIR por mínimos quadrados parciais (PLS), verificar RMSEC, RMSEP e a correlação (R) melhor para as ambas as duas áreas, para as sete espécies da família Moraceae. Além, de verificar a melhor face de corte anatômico para leitura no infravermelho e validar a predição de densidade da madeira das amostras de ambas as áreas. A partir de um conjunto de dados calibrados no FT-NIR obteve-se a melhor leitura dos espectros na face do corte tangencial, e também o melhor resultado para correlação (R) na Amazônia Central entre 0,85 e 0,88 e para Amazônia Oeste 0,82, houve pouca diferença em ambas as áreas. Para os resultados obtidos RMSEC foram os menores erros para a face de corte tangencial, e na face do corte radial obteve-se menor para RMSEP na Região Central da Amazônia. Enfim, conclui-se que os dois modelos para ambas as duas áreas apresentam bons resultados na predição para a densidade básica da madeira.



PALAVRAS CHAVES: infravermelho, densidade da madeira, madeira caída, tangencial, radial.

INTRODUÇÃO

O estudo para métodos não destrutivo para os dias atuais é a melhor forma de avaliação e eficaz em suprir as lacunas que viabilizam o mercado madeireiro. Para Gouvêa et. al. (2011) os métodos não destrutivos vêm se tornando importante alternativa para predições das características da madeira. A facilidade e precisão das predições têm feito com que muitas empresas adotem esses novos métodos. Convém ressaltar que estudos para fins de caracterização da madeira por método não destrutivo é algo inovador no mercado da qualidade da madeira da Região Norte, entretanto, pesquisa com FT-NIR com três espécies do gênero *Brosimum* da família Moraceae por Silva et. al. (2012) avaliou a eficácia da tecnologia do infravermelho próximo para características tecnológicas da densidade destas espécies e encontrou uma

correlação de 0,98. Estudos realizados por Kabir et. al. (2002), o qual avaliou métodos não destrutivo com a técnica de ultra sonografia nas fibras de madeira, confirmaram ser uma ferramenta importante para a caracterização da madeira a serem utilizadas industrialmente para um melhor controle de qualidade e uma maior uniformidade da matéria-prima e dos seus subprodutos, convêm resaltar estamos evoluindo no que se refere ao uso de métodos não destrutivo e apropriados para testar as propriedades da madeira. Este estudo visa testar a calibração do FT-NIR por mínimos quadrados parciais (PLS), verificar RMSEC, RMSEP e a correlação (R) melhor para as ambas as duas áreas, identificar para as sete espécies da família Moraceae a melhor face de corte anatômico para leitura no infravermelho e validar a predição de densidade das amostras da Amazônia Central (Nascimento et. al., 2012) e a equação de Eugenio da Silva et. al. (2012) do Oeste da Amazônia para as espécies da família Moraceae. As amostras estão incorporado no banco de dados do Laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira – LEAM/INPA.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas na Amazônia Central, espécies oriundas da área de implantação da hidroelétrica de Balbina no Município de Presidente Figueiredo do Estado do Amazonas. A segunda área de estudo foram árvores caídas naturalmente de manejo florestal procedente do Oeste do Amazonas, sendo os municípios de Benjamin Constant, Atalaia do Norte e Reserva Extrativista do Rio Jutáí no Alto Rio Solimões (Figura 1).

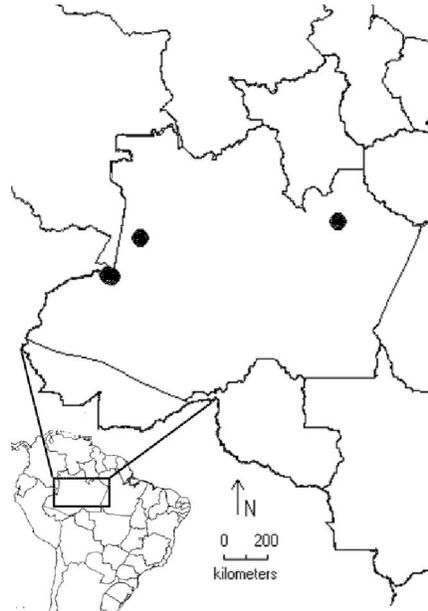


Figura 1. Localização das áreas de estudo

De cada árvore caída naturalmente foram retiradas cunhas para identificação anatômica das espécies, tais como: *Brosimum guianense* (Aubl.) Huber ex Ducke; *Brosimum potabile* Ducke; *Brosimum rubescens* Taub.; *Clarisia racemosa* R. et P.; *Helicostylis tomentosa* Rusby; *Maquira coriaceae* C.C. Berg. e *Pourouma* sp. Para determinação do volume de matéria verde (Vv) as amostras foram saturadas em água, durante 15 dias. E para peso de matéria seca as amostras foram levadas para estufa a temperatura de aproximadamente 103^o C afim de obter o peso de matéria seca (Ps), a razão das duas grandezas obtedo-se assim a densidade básica (Db) das espécies tanto do alburno e no cerne.

$$Db = \frac{Ps}{Vv}$$

Posteriormente, as mesmas amostras foram obtidos dois espectros na face tangencial e radial, considerando madeira do albarno e do cerne. Os espectros foram obtidos no FT-NIR Antaris Modelo II, em 8 cm^{-1} e 16 scan na madeira e numa resolução $4000\text{-}10000\text{ cm}^{-1}$ número, com pré aplicação dos tratamentos. Para as amostras da Amazônia Central, foram realizadas oito leituras no albarno e cerne, gerando um total 240 espectros individuais em 30 espécies no corte tangencial e radial, a seguir gerou-se os espectros médios. Na segunda área de estudo, procedeu-se um conjunto de leituras de 720 espectros individuais em 90 espécies para os mesmos cortes, obteve-se o espectro médio para cada corte. A partir do espectro médio proveniente do conjunto de calibração por regressão para cada espectro individual, utilizou-se o método PLS que é viável e considera-se adequado para as análises dos dados em forma de resíduos sólido madeireiro, a qual se obteve uma validação cruzada. Deste conjunto de calibrações dos espectros resultou-se no RMSEC, SECV e o coeficiente de correlação, para as duas áreas.

RESULTADO

A densidade básica do albarno e do cerne das sete espécies da família Moraceae por método convencional, obteve-se os seguintes resultados: *Brosimum guianense* (Aubl.) Huber ex Ducke no albarno $0,32\text{ g/cm}^3$ e no cerne $0,43\text{ g/cm}^3$; *Brosimum. potabile* Ducke manteve-se relativamente constante entre o cerne e albarno com $0,51\text{ g/cm}^3$, no *Brosimum rubescens* Taub., no albarno $0,76\text{ g/cm}^3$ e no cerne $0,84\text{ g/cm}^3$, enquanto a *Clarisia racemosa* R.et P. no albarno $0,48\text{ g/cm}^3$ e cerne $0,49\text{ g/cm}^3$, *Helicostylis tomentosa* Rusby possuem no albarno $0,73\text{ g/cm}^3$ e cerne $0,84\text{ g/cm}^3$, *Maquira coriacea* C.C. Berg., com similaridade de densidade tanto no albarno como no cerne de $0,37\text{ g/cm}^3$ e no gênero *Pouroma* sp. o albarno com $0,29\text{ g/cm}^3$ e cerne $0,39\text{ g/cm}^3$ (figura 2).

Diante dos resultados das sete espécies da família moraceae, ocorreram semelhanças nas pesquisas das três espécies da mesma família em Silva et al. (2012), visto na espécie *B. potabile* com similaridade na densidade.

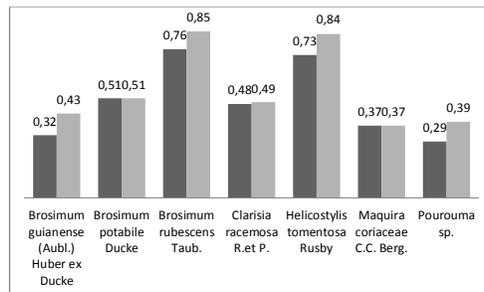


Fig. 2 Densidade da madeira das sete espécies da Moraceae

O trabalho de Silva et al., (2012) quanto em prever a densidade das três espécies da família Moraceae no FT-NIR corroborou e mostrou eficiência em comparação de métodos convencional (deslocamento de água), onde a correlação no FT NIR foi de 0.98, tanto no albarno como no cerne.

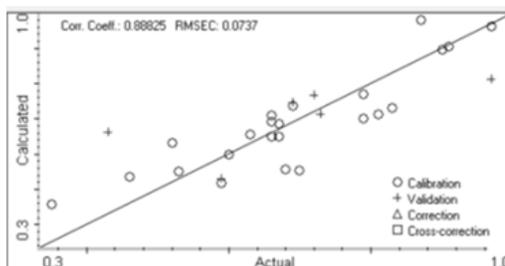


Figura 3. Correlação no corte tangencial na primeira derivada.

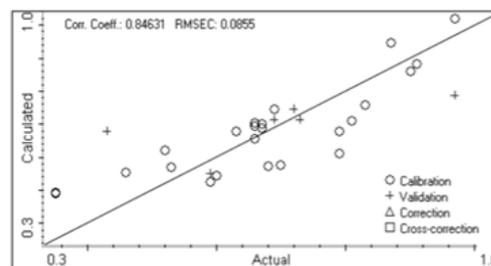


Figura 4. Correlação no corte tangencial na segunda derivada.

Nesta correlação (figura 3 e 4) para o corte tangencial na primeira derivada as sete espécies da família Moraceae oriunda da Região do Amazonas Central, a correlação foi de 0.88, RMSEC 0.073, RMSEP 0.120. Enquanto que na segunda derivada a correlação foi de 0.85, RMSEC 0.085 e RMSEP 0.128, calibradas com a equação de Nascimento et. al. (2012).

Na equação de Silva et. al., (2013) para o corte tangencial, mostram as seguintes correlações:

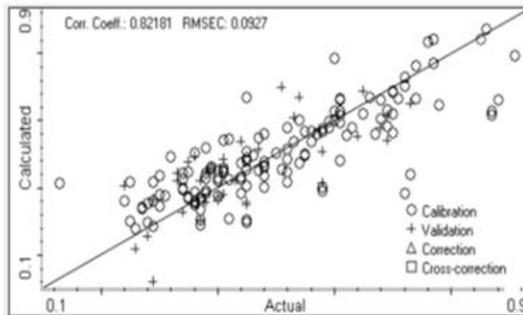


Figura 5. Correlação no corte tangencial na primeira derivada

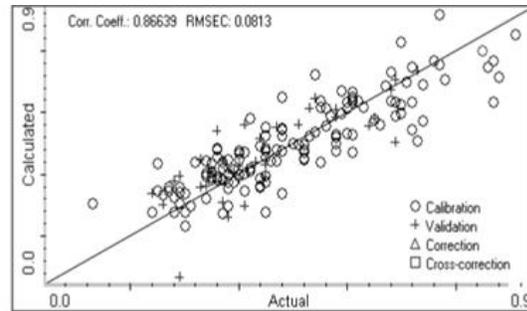


Figura 6. Correlação no corte tangencial na segunda derivada

Na correlação para o corte tangencial na primeira derivada (figura 5), constatou-se uma correlação de 0.82, RMSEC 0.092, RMSEP 0.0957. Na segunda derivada (figura 6) a correlação foi de 0.86, RMSEC 0.081 e RMSEP 0.089.

As correlações são bem significativas para o corte tangencial quando se refere a predição de densidade da madeira e os resultados foram satisfatório, no que se refere as duas áreas, as amostras no valor de correlação são diferentes na Região Central do Amazonas com 30 espécies e 90 espécies para a Região Oeste do Amazonas. No entanto, Andrade et. al., (2011) pesquisou o teor de lignina total, lendo espectros na madeira sólida, nos cortes tangencial, transversal e radial e verificou os melhores resultados na calibração quando aplicou o pré-tratamento na segunda derivada.

Para o corte radial, analisou-se também a calibração na primeira e segunda derivada sendo a correlação de 0.83, RMSEC e RMSEP com ambos mesmos valores de 0.107 (figura 7). Para o pré-tratamento para segunda derivada temos valores de correlação de 0.81, RMSEC 0.111 e RMSEP 0.112 (figura 8), as espécies foram calibradas com as amostras de Nascimento et al., (2012) procedentes da Região do Amazonas Central. Na proposta de Hein et al., (2010), foi utilizada a primeira derivada e segunda derivada nos espectros e descarte de amostras anômalas da seleção de algumas variáveis espectrais as quais melhoraram significativamente o ajuste do modelo, reduzindo o erro padrão e aumentando e coeficiente de determinação e a relação de desempenho do desvio. E também Hein et al.(2012) testou o coeficiente de determinação da regressão linear entre os valores obtidos por difração de raio X e os preditos pelo modelo NIR para ângulo microfibrilar foi de 0,75 e as estimativas apresentaram um erro de predição de $\pm 1,31$ graus. A partir dessa calibração, foi possível estimar essa característica da fibra da madeira de *Eucalyptus* em grandes amostragens com base unicamente na informação espectral, que pode ser facilmente e rapidamente obtida. Portanto as duas pesquisas mostram que o uso de tecnologia de qualidade como do infravermelho próximo mostrou-se bastante eficiente.

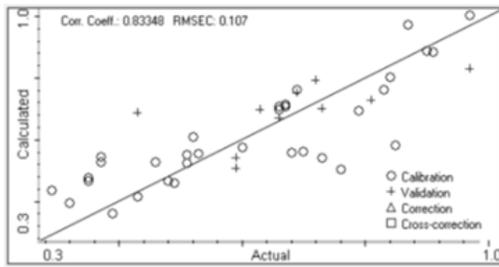


Figura 7. Correlação no corte radial na primeira derivada.

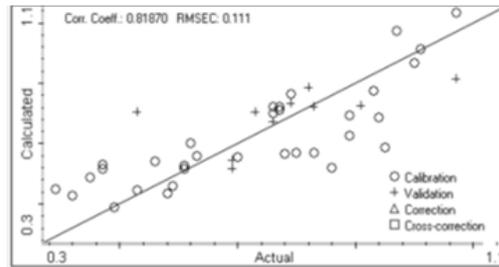


Figura 8. Correlação no corte radial na segunda derivada.

Na pesquisa da Região do Amazonas Central e da Região do Oeste do Amazonas não houveram a retirada das amostras anômalas foram realizadas calibrações na primeira e segunda derivada. Todavia, as amostras procedentes da Região do Oeste do Amazonas no corte radial obtiveram os seguintes valores na primeira derivada, onde a correlação foi de 0,78, RMSEC 0.0998 e RMSEP 0,120 (figura 8).

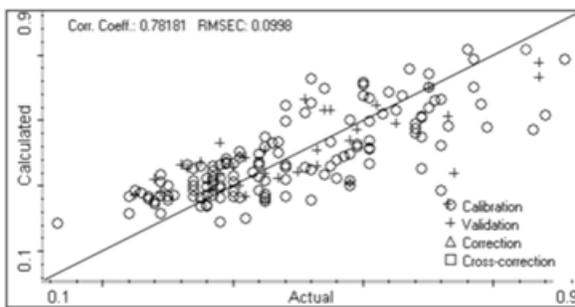


Figura 9 Correlação no corte radial na primeira derivada

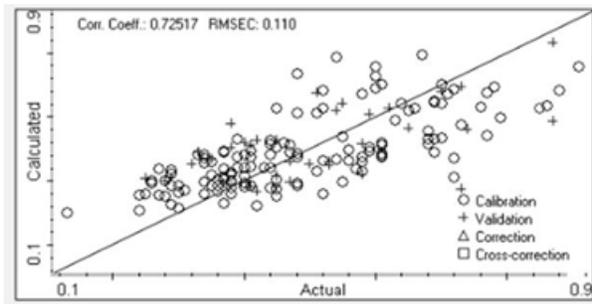


Figura 10 Correlação no corte radial na segunda derivada

Na segunda derivada os valores para correlação 0.72, RMSEC 0.110 e RMSEP 0.125, mesmo realizando o pré-tratamento e calibração das amostras Eugenio da Silva et al., (2012). Para muitos pesquisadores a espectroscopia NIR é usada para estimar a composição química, hoje levo a crer que este resultado em duas áreas diferentes da Amazônia mostrou a eficiência do uso do FT –NIR para prever a densidade da madeira. Convêm ressaltar que Thumm e Meder (2001), relatam que o método de infravermelho próximo NIR na verificação de propriedades mecânicas, e considerou este método não destrutivo eficiente.

Tabela 1 – Cortes tangencial e radial com os resultados correlação, RMSEC e RMSEP das duas áreas.

Corte	Corte	Derivadas	R	RMSEC	RMSEP
Tangencial	Amazônia Central	1ª	0,88	0,073	0,120
		2ª	0,85	0,085	0,128
	Amazônia Oeste	1ª	0,82	0,092	0,0958
		2ª	0,82	0,081	0,0890
Radial	Amazônia Central	1ª	0,83	0,107	0,107
		2ª	0,81	0,111	0,112
	Amazônia Oeste	1ª	0,78	0,0998	0,120
		2ª	0,72	0,110	0,125

No corte tangencial o coeficiente de correlação (R) do modelo na validação cruzada para RMSEC E RMSEP foi que obteve maior correlação absoluta, no que se refere ao corte radial obteve-se para RMSEP os menores valores visto acima na tabela 1. Viana (2008) analisou para corte transversa e obteve uma correlação entre 0,79 e 0,94, em corpo de prova feito em madeira sólida de clones *Eucalyptus* para predição tecnológica da madeira. Para obter todos esses resultados houve uma etapa de calibração, com os dados das amostras das duas áreas.

CONCLUSÃO

As calibrações no FT - NIR das amostras de Nascimento et al. (2012) na Amazônia Central e as amostras de Eugenio Silva et al. (2012) para Amazônia Oeste das sete espécies da família Moraceae, obteve-se a melhor leitura dos espectros na face do corte tangencial, e foi a melhor resultado para correlação (R) na Amazônia Central entre 0,85 e 0,88 e para Amazônia Oeste 0,82, confirma que houve pouca diferença em ambas as áreas. Para os resultados obtidos RMSEC foram os menores erros para a face de corte tangencial, e para a face no corte radial obteve-se menor para RMSEP na Região Central da Amazônia. Enfim, conclui-se que os dois modelos para as duas áreas para determinação na melhor correlação para avaliar densidade básica da madeira, das sete espécies da família Moraceae esses dois modelos apresentaram boas correlações, tanto para áreas com pequenas amostra (Amazônia Central) e tanto para amostras de maior números (Amazônia Oeste).

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AMDRADE,C.R; TRUGILHO,P.F; NAPOLI,A; QUINHONES,R.; LIMA,J.T. Calibração 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. *Ambiência Guarapuava*(PR), v.7,n.1, p. 39-49.2011.
- GOUVÊA, A.F.G.; TRUGILHO, P.F.; GOMIDE, J. L.; SILVA, J. R.M.; ANDRADADE,C.R.; ALVES, I.C.N. Determinação da densidade básica na madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. *Revista Árvores*, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.349-358, 2011.
- HEIN,P.R.G;CAMPOS, J.T.; LIMA, J.T.; CHAIX, G. Otimização de calibração baseadas em espectroscopia no infravermelho próximo para estimativa de propriedades da madeira de *Eucalyptus*.*Floresta*, Curitiba, PR, v.40.n.3, p.615-624. 2010.
- HEIN,P.R.G;CAMPOS, J.T.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F; CHAIX, G. Estimativa do Ângulo Microfibrilar em Madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* por meio da Espectroscopia no Infravermelho Próximo. *Revista FLORAM*. 19(2):194-199. 2012.
- KABIR, M. F.; Schmoltdt, D. L.; Schafer, M. E. Time domain ultrasonic signal characterization for defects in thin unsurfaced hardwood lumber. *Wood and Fiber Science*. 2002. 34(1):165-182.
- SILVA, C.E.; HIGUCHI, N; NASCIMENTO, C.C.; DURGANTE, F.M.; BRASIL, M.M. Use of Near Infrared Spectroscopy (FT-NIR) to predict wood density of three *Brosimum* species (Moraceae) of Alto Rio Solimões. IAWA 2012. Recife/PE – Brasil.
- THUMM,A.; MEDER,R. Stiffness prediction of radiata pine clearwood test pieces using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*,