

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCIELLI RODRIGUES RIBEIRO BATISTA

**INFRAVERMELHO PRÓXIMO COMO FERRAMENTA AUXILIAR NA
IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS NA ARTE SACRA**

CURITIBA

2013

FRANCIELLI RODRIGUES RIBEIRO BATISTA

**INFRAVERMELHO PRÓXIMO COMO FERRAMENTA AUXILIAR NA
IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS NA ARTE SACRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para disciplina de Estágio Profissionalizante em Engenharia Industrial Madeireira – AT063 do curso de Engenharia Industrial Madeireira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Silvana Nisgoski

CURITIBA

2013

*Aos meus pais,
Jandira Rodrigues, Francisco A. R. Batista e Ivo Pelin
A todas as pessoas que mesmo de forma indireta, me
deram força para seguir nessa jornada.*

dedico...

AGRADECIMENTOS

Hoje vivo uma realidade, foi preciso muito esforço, determinação, paciência e ousadia para chegar até aqui, e nada disso eu conseguiria sozinha. Minha eterna gratidão a todos aqueles que colaboraram para que este sonho pudesse ser concretizado.

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por Seu amor, sem Ele nada sou. Obrigada por permitir que tudo acontecesse, não somente pelo término desta etapa, mas também, por tudo que proporcionou e proporciona ao longo de minha vida. Obrigada por ser o maior mestre que uma pessoa pode conhecer.

Agradeço à minha orientadora, Prof^a. Silvana Nisgoski a cada incentivo, orientação e preocupação para que eu estivesse sempre andando pelo caminho correto ao longo desses anos como acadêmica. Foi com muita paciência e profissionalismo que dedicou seu valioso tempo para me orientar em cada passo deste e tantos outros trabalhos.

Aos meus pais, pela confiança depositada e pelo amor que me fortalece todos os dias. Foi pelo amor que sinto por vocês que me tornei o que sou hoje e é por esse amor que lutei e luto todos os dias para ser uma pessoa cada vez melhor.

Ao laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira (LANAQM), e a esta Universidade pela disponibilização de ferramentas para tantas pesquisas realizadas.

Aos meus colegas de classe que aprendi a conviver, respeitar e amar ao longo destes anos, com certeza serão excelentes profissionais. Obrigada pelo companheirismo e por de alguma maneira, terem tornado minha vida acadêmica cada dia mais desafiante. Peço a Deus que os abençoe grandemente, preenchendo seus caminhos com muito amor, saúde e sucesso.

Felizmente, estou longe de ser uma pessoa sozinha. Quem tem amigos, nunca está só. Não citarei nomes de todos os que me ajudaram nesse percurso pois sabem quem são e sabem de sua importância em minha vida pessoal e acadêmica. Portanto meus amigos, este é meu muito obrigado a vocês.

Ao longo de toda minha história neste curso, profissão que escolhi, tive inúmeras conquistas, oportunidades, alegrias, aprendizado e também muitos obstáculos. Mas com certeza, posso afirmar que aproveitei tudo que me foi oportunizado, nada foi em vão. Cada momento, cada tempo dedicado aos estudos e trabalhos, valeram muito a pena.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

"A Moral não me ajuda. Sou antagônico nato. Sou uma daquelas pessoas que são feitas para exceções, não para regras."

Oscar Wilde

RESUMO

A técnica de espectroscopia no infravermelho pode ser uma ferramenta útil e vantajosa no processo de identificação de madeiras, uma vez que o aparelho é versátil, de fácil mobilidade e, o mais importante, as amostras podem ser maciças, exigem pouco preparo e os resultados são obtidos mais rapidamente. Cada material absorve, transmite e reflete a luz em determinados comprimentos de onda, de acordo com a composição anatômica e química, o que leva a identificação e separação das espécies. Foram estudadas imagens sacras, relíquias históricas, as quais retratam a arte barroca religiosa do século XVIII, com intuito de testar nova técnica de identificação das espécies utilizadas na confecção das peças e orientar o restauro. O material foi procedente do atelier Relicário de Conservação e Restauração de Bens Culturais Ltda., do estado de Minas Gerais. As amostras eram pequenos fragmentos das obras, identificados anatomicamente com auxílio de um microscópio Olympus CX-40 com câmera digital Olympus Camedia C3000 acoplada. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro FTIR Tensor 37 da marca Bruker, operando na faixa do infravermelho próximo entre 4000 cm^{-1} e 10000 cm^{-1} . As leituras do infravermelho foram efetuadas em absorbância com resolução de 4 cm^{-1} e 64 varreduras, diretamente dos fragmentos de madeira, na superfície longitudinal, num total de 20 espectros por obra. A análise dos espectros foi feita através da Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise por Agrupamento, com o auxílio do software The Unscrambler®, versão 10.1. Através da análise de componentes principais (PCA) e de agrupamento, foi possível concluir que a técnica é promissora na identificação das espécies na arte sacra, mas se mostra sensível ao estado do material analisado, como por exemplo, vestígios de tintas, colas e outras resinas, além da degradação.

Palavras-Chave: Infravermelho, Identificação de madeiras, Arte Sacra

ABSTRACT

The infrared spectroscopy can be a useful tool and with advantages in wood identification once the equipment is versatile, portable and most importantly, the samples can be solid and require little preparation, and the results are obtained more quickly. Each kind of material absorbs, transmits and reflects light at certain wavelengths in accordance with the anatomical and chemical composition, which leads to species identification and discrimination. Sacred images were studied, historic relics which refer to Baroque art of the eighteenth century, in order to test a new technique for identification of species used in the manufacture of images and guide the restoration process. The material was sent by atelier Relicário de Conservação e Restauração de Bens Culturais Ltda., Minas Gerais state. The samples were small fragments of images, which were identified by anatomical structures with the aid of a Olympus CX-40 Microscope with a digital camera Olympus Camedia C-3000 coupled. It was used an spectrophotometer FTIR Tensor 37, from Bruker, applied in the near infrared range between 4000 cm^{-1} and 10000 cm^{-1} . Spectra were obtained in absorbance, with resolution of 4 cm^{-1} and 64 scans, directly from wood fragments, on longitudinal plane, and total of 20 spectra by image. The spectra analysis was done by Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis, with the aid of The Unscramble® 10.1 software. Through principal component and cluster analysis it was concluded that the technique is promising for species identification in sacred art, but proves sensitive to the quality of analyzed material, such as traces of inks, glues and other resins, besides deterioration.

Keywords: infrared, wood identification, sacred art.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nome das obras analisadas e sua origem.....	27
Tabela 2 - Identificação das espécies de madeiras referentes às obras.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro Eletromagnético	18
Figura 2 - Tipos de vibrações moleculares.....	19
Figura 3 - Esquema de um Espectrofotômetro.....	21
Figura 4 - Etapas envolvidas na Análise de Componentes Principais.....	25
Figura 5 - Fragmentos das obras estudadas.....	27
Figura 6 - Imagens Sacras.	28
Figura 7 - Planos transversal, radial e tangencial do vinhático.....	30
Figura 8 - Planos transversal, radial e tangencial do cedro marinho.....	30
Figura 9 - Planos transversal, radial e tangencial da Tilia.	31
Figura 10 - Planos transversal e tangencial da mogno africano.....	32
Figura 11 - Planos transversal, radial e tangencial da espécie cedro	32
Figura 12 - Espectros de absorbância das amostras.	34
Figura 13 - Agrupamento das imagens sacras, sem pré- tratamento, pela Análise de Componentes Principais	35
Figura 14 - Espectros segunda derivada das amostras.	35
Figura 15 - Agrupamento das imagens sacras, espectros em segunda derivada, pela Análise de Componentes Principais.....	36
Figura 16 - Análise de agrupamento das amostras originais.	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Arte sacra	14
3.2 A técnica de espectroscopia no infravermelho próximo.....	17
3.3 Análise dos dados espectrais	22
3.3.1 Método de análise de componentes principais	24
3.3.2 Análise de agrupamentos	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Material.....	27
4.2 Métodos.....	28
4.2.1 Identificação anatômica	28
4.2.2 espectroscopia no infravermelho próximo	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Identificação anatômica.....	30
5.2 Espectroscopia no infravermelho próximo.....	33
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

Influenciada pelas obras produzidas em Portugal e na Espanha, iniciou-se no século XVI, a produção de imagens sacras no Brasil, no início como recurso didático de evangelização, da mesma forma como os autos de fé. Movidos pelo processo de renovação doutrinária, inicialmente as imagens eram importadas e, posteriormente, com a chegada de outras ordens religiosas, com compromisso de evangelizar, começou-se então a produção brasileira. No século XVII o barro, foi o material mais empregado nas esculturas devocionais no Brasil, entretanto, no século XVIII, a madeira passou a ser o principal insumo.

Entretanto, a herança cultural da arte barroca sofre em sua grande maioria, processos gradativos de biodeterioração, processo pelo qual a matéria-prima decompõe-se por meio da atividade de organismos biológicos. As referidas obras nas igrejas encontram-se em crescente processo de deterioração e ações de restauro são imprescindíveis para a conservação desses objetos históricos. No entanto, para restaurar é necessário conhecer previamente todas as características dos materiais usados em determinada obra.

O processo de identificação científica de uma espécie é complexo e envolve diversas etapas, sendo muitas vezes demorado. Muitas podem ser identificadas macroscopicamente, mas outras precisam da análise microscópica, mais detalhada, para complementar as informações (CORE *et al.*, 1979). Para arte imaginária, a anatomia da madeira mostra-se como método satisfatório para a identificação das espécies lenhosas outrora empregadas, porém, é crescente a busca por novos recursos, mais rápidos e eficazes.

As aplicações práticas do material e o significado para as ciências levaram ao interesse a estrutura das espécies de madeira, que foi uma das primeiras a ser estudada a nível anatômico e contribuiu para o desenvolvimento da teoria celular na biologia. Avanços tecnológicos levaram à aplicação de vários métodos nas pesquisas estruturais, como a microscopia óptica e eletrônica, raios-X, tomografia e técnicas de espectroscopia.

A espectroscopia é a medição da intensidade de absorção de luz realizada por uma amostra, tipicamente usada na medição quantitativa de grupos funcionais orgânicos, e se apresenta como uma técnica rápida e eficiente em diversos campos de aplicação. As informações apresentadas nos espectros podem ser empregadas para estimar a concentração de uma dada substância ou uma propriedade física quando esta for, de qualquer maneira, reflexo de mudanças significativas na intensidade e/ou comprimento de onda dos espectros produzidos pela amostra. Os comprimentos de onda nos quais estas vibrações ocorrem para um composto qualquer são funções de sua estrutura e composição, portanto, o espectro pode ser utilizado para identificar espécies moleculares em complexas misturas químicas, como a madeira, e avaliar as proporções de diversos constituintes além de suas interações. Contudo, a análise dos dados gerados, a partir dos espectros de infravermelho, requer o uso de métodos que auxiliam na identificação e quantificação de componentes de interesse, com base em procedimentos matemáticos e estatísticos. Dentre os métodos podem ser citadas a Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Agrupamentos (KAWANO, 2003).

Considerando o expressivo emprego de madeiras na produção da cultura em determinados períodos históricos do Brasil, principalmente em artísticos religiosos durante o processo progressivo de expansão do Catolicismo, evidenciado em várias cidades brasileiras, o presente estudo explorou uma promissora técnica de identificação das madeiras utilizadas na arte sacra. Os resultados contribuem com informações de valor madeireiro e de potencial na aplicação tecnológica para o desenvolvimento de metodologias específicas para a conservação e ou restauro do das relíquias em questão.

2 OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Este projeto tem como objetivo geral a discriminação de espécies através do uso da espectroscopia de infravermelho próximo em madeira maciça.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter espectros por infravermelho próximo dos fragmentos de madeiras pertencentes a obras da Arte Sacra (Relíquias históricas)
- Analisar os espectros através de análise multivariada;
- Testar o melhor tratamento matemático para as características analisadas com a finalidade de diferenciação das espécies;

Colaborar com as informações características de cada material, para direcionar um adequado restauro a essas obras, que em sua maioria encontram-se com um elevado grau de deterioração.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Arte Sacra

Quando se observa o estilo barroco Europeu utilizado na Arte Sacra, constata-se que a proporção é exaltada; o florido, o policromado e as texturas são destacadas. A decoração, a luz e a sombra são sempre desejadas. A primeira impressão é que há menos controle e mais efusão e uma procura de efeitos visuais.

A expansão da Arte Barroca se deu primeiramente pelos pequenos trabalhos, que incluíam quadros com representações do gênero, pequenas estátuas, motivos cotidianos e naturezas mortas. O transporte dessas obras era, evidentemente, mais prático. Os retratos começavam a surgir, além das temáticas bíblicas e mitológicas.

As palavras Rococó e Barroco eram usadas como palavras depreciadoras no sentido de exagero. Barroco, para a língua portuguesa, era o nome dado a pérolas de formato irregular (feito de barro), “pérola barroca”, ou barroca, como rocha de barro, piçarra (PRADO e SILVA, 1977, p.130). Nas línguas italiana e francesa do século XVI significava um processo tortuoso, um pensamento enrolado ou bizarro. O estilo era conhecido como contraponto ao Clássico, no qual as proporções eram uma regra rígida, enquanto no estilo barroco as regras de proporção não eram absolutamente observadas e tudo estava sujeito ao capricho do artista. Nesse caminho, os arquitetos que transgrediam as regras clássicas eram ainda mais atacados do que os artistas que ousavam no estilo eloquente (LEMES, 2012).

A Alemanha foi o país que passou a tratar o Barroco não como distorção do classicismo e sim como arte. Os estudiosos alemães consideravam, já no século XIX, a nova arte como respeitável. Os demais países europeus ainda não aceitavam o Barroco/Rococó como uma arte plena (LEMES, 2012).

LEMES (2012) comenta que as faces da revolução religiosa pré movimento barroco, foram a Reforma Protestante e a própria reforma da Igreja promovida de dentro para fora e que se iniciou não para limpar os efeitos do protestantismo, mas o início desse movimento pode ser marcado pela iniciativa do cardeal Ximenes no século XV na Espanha. Com a aprovação da monarquia, Ximenes adotou medidas enérgicas contra os abusos do clero, fundando escolas, eliminando os abusos por parte de religiosos e impondo disciplina aos mosteiros, o primeiro objetivo era combater as heresias e os pensadores eclesiásticos infiéis. O efeito foi uma moralização do grau religioso da nação. Na Itália, no início do século XVI, havia um

grupo de clérigos preocupados e fervorosos com os caminhos que lhes cumpria realizar. Havia o paganismo crescente por um lado e a depravação da corte papal por outro. Mesmo assim, com todos os obstáculos, diversas ordens religiosas foram fundadas com altos ideais de fé, piedade e serviços de misericórdia. Destacaram-se entre elas a ordem dos Teatinos, uma organização de padres que faziam votos monásticos de pobreza e a Ordem de Frades Menores Seguidores de São Francisco. Apesar dessas iniciativas, a Reforma Protestante parecia ameaçar seriamente a antiga doutrina. Nenhum papa preocupou-se antecipadamente com a Reforma, mas quando toda a nação alemã incorporou as idéias de Lutero o papado despertou para a eminência de uma ameaça à existência do estado religioso romano.

O autor ainda lembra que os seguidores de Lutero e Calvino causaram efeitos devastadores. A escultura e a pintura foram expurgadas das igrejas, mas os contra reformistas, abraçaram a representação artística como instrumento de doutrina, aumentando a produção de pinturas e esculturas, estátuas da Virgem Maria, dos martirizados, do êxtase ou meditação dos santos. A arte religiosa foi considerada uma dádiva divina e encorajada a fazer parte da decoração das igrejas, desde que afirmasse a fé e conduzisse os fiéis à devoção.

A Arte Barroca torna-se mais uma aquisição dos países de fé católica do que de países de fé protestante, particularmente dos países católicos fiéis ao papa. Como exemplos têm-se a Espanha e Portugal, diferentemente de países que, embora professassem o catolicismo, mantinham-se independentes (LEMES, 2012).

Viver o catolicismo no Brasil dos séculos XVIII e XIX era viver o estilo barroco. Não havia por aqui outro estilo a ser copiado. Construir uma igreja significava envolver-se com o Barroco sem saber que se tratava de um padrão de arte específico, sem saber se havia outra maneira de construir uma igreja católica. Há um detalhe que se tornou uma particularidade das igrejas trabalhadas no estilo barroco em todas as regiões do Brasil. Enquanto as igrejas espanholas e portuguesas, na decoração de seus interiores, optaram por arabescos, ornatos, rendas, babados e desenhos curvilíneos assimétricos, os ornamentos das igrejas brasileiras apresentam-se mediante figuras de plantas, animais e motivos indígenas como

penas, trançados e tramas; talvez pela proximidade ou pela intenção de atrair as comunidades indígenas que eram muito maiores no século XVIII (LEMES, 2012).

A cidade de Salvador, na Bahia, foi a mais importante da época colonial, e existe um adágio popular que diz: “na Bahia tem mais igrejas que os dias do ano”. A maior parte delas eram cópias adaptadas de modelos portugueses nas típicas fachadas com duas torres, como a Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos, no Pelourinho, e Bom Jesus do Monte em Braga, Portugal. Já em Minas Gerais, no final do século XVIII, quando a riqueza do ouro trouxe prosperidade para a região, desenvolveu-se um núcleo do barroco tardio riquíssimo, não só pelo valor agregado pelo ouro, mas pelo requinte da arquitetura ali desenvolvida (LEMES, 2012).

Nessa situação, a religião era um apego de devoções pessoal, e santo, santas e anjos eram domésticos. O altar era sem requinte, apenas uma cômoda ou prateleira onde se acendiam as velas. Era um barroco adaptado, não decorativo, mas um barroco atitude, no qual a religiosidade era adaptada à pobreza (LEMES, 2012).

A produção de imagens sacras no Brasil, aqui introduzidas no século XVI, sofreu influência das obras produzidas em Portugal e na Espanha, a princípio como recurso didático de evangelização, assim como os autos-de-fé, pelos membros da Companhia de Jesus. Movidos pelo processo de renovação doutrinária, inicialmente as importavam e, posteriormente, com a chegada de outras ordens religiosas, que tinham o mesmo compromisso de evangelizar, começaram também a produzi-las em oficinas monásticas (ALCÂNTARA, 2008).

O material mais empregado nas esculturas devocionais do Brasil no século XVII foi o barro, pois permitia bons resultados, sem as dificuldades encontradas, no trabalho feito em madeiras e pedras.

Entretanto, no século XVIII, a madeira foi o material mais utilizado na confecção imaginária em todo o Brasil. Segundo Coelho (2005), em Minas Gerais, a espécie de madeira mais utilizada foi o cedro (*Cedrella* sp.), sendo também encontradas canelas (*Ocotea* sp. e *Nectandra* sp.), louro (*Cordia* sp.), carvoeiro (*Niconia* sp.), cedro marinho (*Guarea* sp.), pinheiro do paraná (*Araucaria angustifolia*), entre outras.

A espécie *Cedrela* sp., da família Meliaceae, conhecida popularmente como cedro, de ocorrência geral no Brasil e em países como América Central, Argentina, Bolívia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Paraguai, Peru e Suriname. Apresenta características como cerne e alburno distintos pela cor, cerne bege rosado; superfície lustrosa; cheiro perceptível, agradável e característico, gosto ligeiramente amargo; densidade baixa; grã direita; textura média a grossa. A estrutura anatômica mostra parênquima axial visível a olho nu, em faixas marginais afastadas e contrastadas; raios visíveis a olho nu no topo e na face tangencial, finos, muito poucos a poucos; vasos visíveis a olho nu, pequenos a grandes, dispostos em anéis semi porosos, solitários em maioria, obstruídos por óleo-resina ou substância branca. Camadas de crescimento distintas individualizadas pelo parênquima marginal e distribuição dos vasos em anéis semi porosos. Possui boa trabalhabilidade, sendo fácil de aplainar, serrar, lixar, furar, pregar, colar e torneiar. Apresenta bom acabamento (MAINIERI e CHIMELO, 1989).

No Brasil, assim como em todo o mundo, o Barroco, agora sem as suas expressões religiosas, assenta-se como grande arte e objeto de profundos estudos nas mais memoráveis academias (LEMES, 2012).

3.2 A técnica de espectroscopia no infravermelho próximo

A luz é uma onda eletromagnética transversal, que consiste em campos elétrico e magnético perpendiculares um ao outro e à direção de propagação, caracterizada por um comprimento de onda (distância entre dois picos sucessivos) e frequência, que é o número de picos que passam por um observador em um dado espaço de tempo. O olho humano é sensível a apenas uma pequena faixa de frequências, a região da luz visível do espectro eletromagnético. A luz com frequências levemente superiores (ou comprimentos de onda mais curtos) está na faixa do ultravioleta e a luz com frequências levemente inferiores (comprimentos de onda mais longos) está na faixa do infravermelho (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Uma onda eletromagnética é capaz de se propagar mesmo no vácuo. Maxwell chegou à conclusão que a luz visível é análoga as restantes, com diferenças somente na frequência e comprimento de onda. Conforme a frequência e

comprimento de onda, pode-se definir um espectro com várias zonas (DALLAGNOL, 2012).

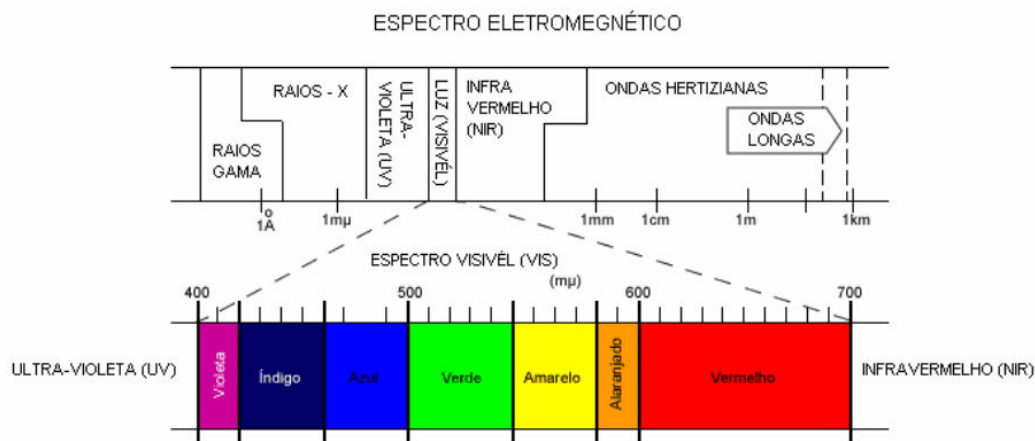


Figura 1 - Espectro Eletromagnético (Fonte: TENG (2008) citado por CARNEIRO 2008).

O infravermelho encontra-se na região do espectro eletromagnético situada entre as regiões do visível e micro-ondas, engloba radiações com número de onda de 12.800 cm^{-1} a 10 cm^{-1} , ou com comprimentos de onda de 780 nm a $1,0 \times 10^6$ nm. O espectro infravermelho pode ser dividido em infravermelho próximo (NIR, do inglês Near Infrared), médio (MID, do inglês, Middle Infrared) e distante (FAR, do inglês, Far Infrared) (RIBEIRO, 2012).

A espectroscopia estuda a interação da radiação eletromagnética com a matéria, existindo interação em três processos distintos: absorção, emissão e espalhamento de radiação. A espectroscopia vibracional estuda a transição das vibrações normais moleculares e compreende a absorção no infravermelho e espalhamento Raman (NISGOSKI 2005).

De acordo com BARBOSA (2007), para que determinada vibração resulte em absorção da radiação na região do infravermelho, é necessário que esta cause alteração no momento dipolo da molécula. De modo geral, as vibrações de estiramento resultam em bandas mais intensas do que aquelas de deformações angulares, assim, grupos funcionais formados por átomos de grande diferença de eletronegatividade, como carbonila, hidroxila, amino, etc., normalmente darão origem a bandas de absorção intensas.

PEREIRA (2012) ressalta que a absorção no infravermelho ocorre quando a energia da radiação tem o mesmo valor da diferença de energia entre dois estados vibracionais, ou seja, o processo envolve uma ressonância entre a diferença de níveis de energia da molécula e da radiação eletromagnética.

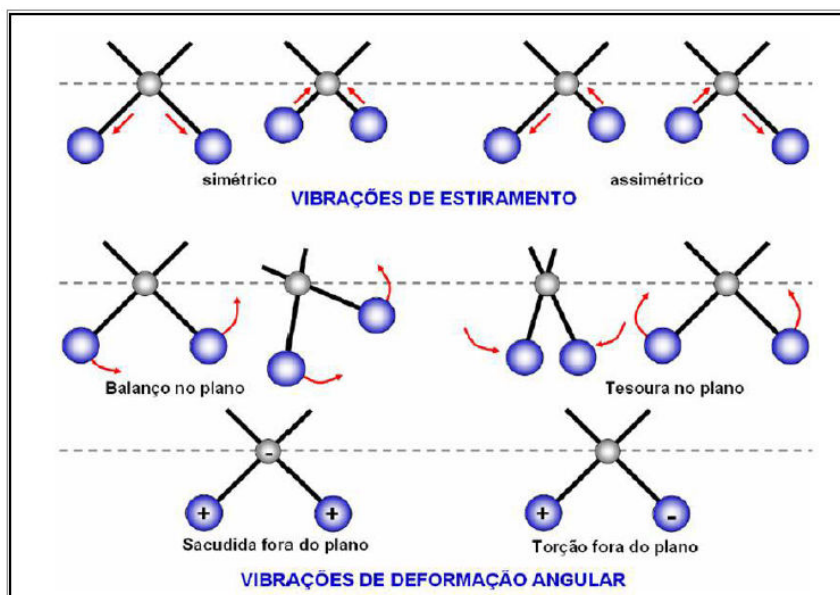


Figura 2 - Tipos de vibrações moleculares, onde + = vibração para fora do plano; - = vibração para dentro do plano (NASCIMENTO, 2010 citado por PEREIRA, 2012).

SANTOS (2007) comenta que apenas os modos vibracionais que alteram o momento dipolar da molécula são detectados através de um espectro. Assim, destacam-se as moléculas diatômicas heteronucleares, as moléculas poliatômicas com vibrações assimétricas e grupos funcionais ligados a polímeros, o que engloba a maioria dos compostos orgânicos, e muitos dos inorgânicos, como a água. Espécies atômicas e moléculas diatômicas homonucleares não são excitáveis.

Segundo KAWANO (2003) a espectroscopia vibracional é uma ferramenta poderosa na identificação, determinação de grupos funcionais e nos estudos de conformação da molécula. As moléculas simples ou macromoléculas são constituídas de átomos e formam uma estrutura tridimensional, com distâncias de ligação química e ângulos de ligações definidas, apresentando uma determinada simetria molecular.

O mesmo autor relata que a espectroscopia de absorção no infravermelho (IR) pode ser dividida em três regiões distintas:

(10 a 400) cm^{-1} IR longínquo ou afastado (FIR)

(400 a 4000) cm^{-1} IR médio (MIR)

(4000 a 12820) cm^{-1} IR próximo(NIR)

A espectroscopia no infravermelho longínquo ou afastado (FIR) é pouco utilizada no estudo de polímeros pois, nesta faixa espectral, aparecem as frequências de modos de rede, modos de torção, estiramentos e deformações angulares de átomos pesados. A maior parte dos estudos referem-se à região média (MIR), onde se localizam as frequências vibracionais fundamentais, que correspondem às transições entre o nível de energia vibracional fundamental ($v=0$) e o primeiro nível vibracional excitado ($v=1$).

TAIZ E ZEIGER (2004) comentam que a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), cuja luz se estende em uma faixa de 800-2500nm, é tipicamente usada na medição quantitativa de grupos funcionais orgânicos, especialmente O-N, N-H, e C=O.

A espectroscopia no NIR associada com a técnica quimiométrica tem sido implementada para uso na determinação quantitativa em controle de qualidade e controle de processo industrial. Os aparelhos usados para se obter o espectro IR são de dois tipos: espectrofotômetro dispersivo e por transformada de Fourier (FTIR) (KAWANO, 2003).

BARBOSA (2007) comenta que o equipamento mais antigo, o espectrofotômetro de dispersão, era formado por três partes básicas, uma fonte de radiação infravermelha contínua, um monocromador para dispersar a radiação e um detector sensível à radiação infravermelha. Esses equipamento foram utilizados durante muito tempo, e devido à algumas limitações, foram sendo substituídos pelo espectrofotômetro com transformada de Fourier, ou FTIR. Os dois equipamentos fornecem o mesmo tipo de espectro, de modo que não há diferença em termos de interpretação dos dados obtidos.

A espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) basicamente, colhe o espectro mais rapidamente. Em vez de se coletar os dados variando-se a frequência da luz infravermelha monocromática, a luz infravermelha

(com todos os comprimentos de onda da faixa usada) é guiada através de um interferômetro. Depois de passar pela amostra o sinal medido é o interferograma. Realizando-se uma transformada de Fourier no sinal resulta um espectro idêntico ao da espectroscopia infravermelha convencional (dispersiva). Os espectrofotômetros FTIR são mais baratos do que os convencionais porque é mais simples construir um interferômetro do que um monocromador (BARCELOS, 2007).

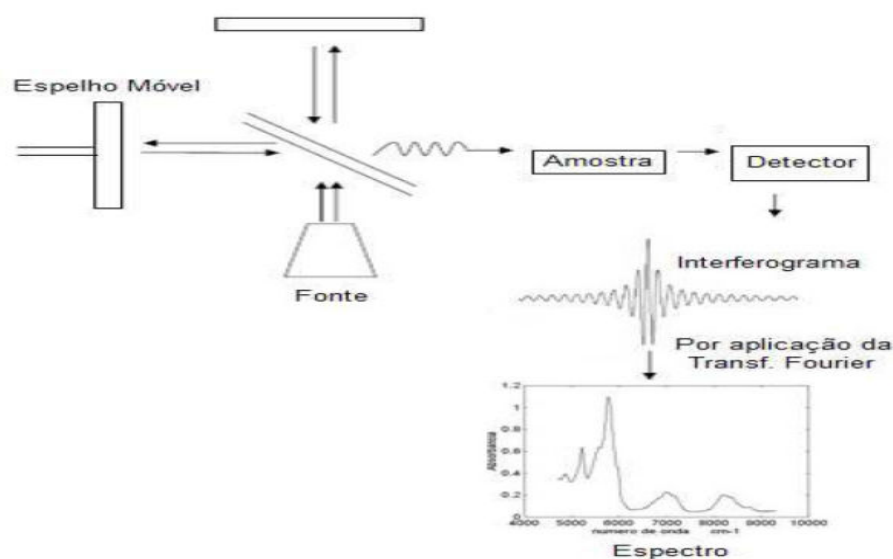


Figura 3 - Esquema de um Espectrofotômetro. Fonte: COSTA (2000) citado por DALLAGNOL (2012).

Entre as vantagens de um equipamento FTIR, que utiliza o método interferométrico para obtenção dos espectros, estão a maior sensibilidade ou maior razão sinal/ruído, maior entrada de energia, obtenção de espectros em poucos segundos, obtenção de espectros com maior resolução e amostras em quantidades bem menores e maior precisão nas medidas de números de onda (BARBOSA, 2007).

A obtenção de espectros de infravermelho de boa qualidade é sempre desejável. Entende-se por bom espectro aquele que apresenta o seguinte perfil espectral: linha base plana, nenhuma banda saturada, bandas resolvidas, alta razão sinal/ruído (S/N), ausência de franjas de interferência, ausência de bandas de impureza, de água e de CO₂ (KAWANO, 2003).

A existência de vários acessórios acoplados ao espectrômetro FTIR facilita a obtenção de espectros de amostras em diferentes estados físicos, formas e morfologias. É importante obtê-los sem induzir modificações físicas ou químicas na

amostra. Pode-se listar os modos diferentes de obtenção mais utilizados para estudos de polímeros: transmissão ou absorção, refletância total atenuada (ATR), refletância difusa (DRIFTS), fotoacústico no infravermelho (PAS), refletância especular e microscopia no infravermelho (KAWANO, 2003).

Barbosa (2007) lembra que a qualidade do espectro depende do preparo da amostra e do tipo de acessório utilizado para sua obtenção, assim a maneira como a amostra é tratada, bem como seu estado físico pode afetar a aparência do espectro.

A obtenção de informações rápidas referentes à composição específica de um produto é uma ferramenta de valor incalculável para a garantia da qualidade deste produto. Quanto mais rápido é determinada uma mudança na especificação deste produto, mais rápido uma correção pode ser feita, implicando em um melhor controle da qualidade e redução de custos, pois haverá menos desperdício (SILVA, 2002 citado por NISGOSKI, 2005).

O uso do infravermelho para a discriminação de madeiras ou diferenciação entre cerne alburno, e lenhos em misturas aparece em estudos de EASTY e BERBEN (1990), BRUNNER *ET AL.* (1996), SCHIMLECK *ET AL.* (1996), FURUMOTO *ET AL.* (1999), TSUCHIKAWA *ET AL.* (2003A,B), YONENOBU e TSUCHIKAWA (2003), CSOKA *ET AL.* (2005), MIDORIKAWA e FUJITA (2005), MIDORIKAWA *ET AL.* (2005), SO E EBERHARDT (2006), ADEDIPE *ET AL.* (2008), HUANG *ET AL.* (2008), RANA *ET AL.* (2008), EVANS *ET AL.* (2008), CASTILLO *ET AL.* (2008A,B), POPESCU *ET AL.* (2009), entre outros.

Os trabalhos mostraram que é possível a diferenciação do material madeira, uma vez que os espectros coletados são baseados na constituição anatômica e química que é específica, sendo necessários estudos mais aprofundados e direcionados para as madeiras brasileiras, além da criação de banco de dados e modelos matemáticos adequados para as características estudadas.

3.3 Análise dos dados espectrais

A quimiometria, área especificamente destinada à análise de dados químicos de origem multivariada, surgiu da necessidade de analisar e interpretar os dados e

informações contidas em um único espectro, devido à sua quantidade e complexidade, foi necessário o uso de ferramentas novas e mais sofisticadas para tratar e extrair as informações relevantes desse grande conjunto de dados (LOPES, 2008). Pode ser definida como a ciência que utiliza métodos matemáticos e estatísticos para extrair de dados químicos complexos de natureza multivariada, o máximo de informações relevantes (FERREIRA et al., 1999 citado por PEREIRA 2012).

Atualmente a quimiometria divide-se em áreas principais como: processamento de sinais analíticos, planejamento e otimização de experimentos, reconhecimento e classificação de padrões, calibração multivariada, monitoramento e modelagem de processos multivariados e métodos de inteligência artificial (OTTO, 1999 citado por CARNEIRO, 2008).

Apenas a coleta de dados no infravermelho não garante a uniformidade das informações, pois medidas em diferentes unidades e variáveis com diferentes variâncias podem afetar a distribuição e uniformidade dos dados espectrais, assim pode ocasionar dificuldade na análise dos dados, interferindo na extração de informações relevantes, bem como na sua interpretação. Dessa forma aplicam-se pré tratamentos uma fase que envolve o processo de análise de dados oriundos do infravermelho e que em alguns casos facilita a análise e a obtenção de respostas (BRERETON, 2007).

Os objetivos dos pré-tratamentos dos dados são minimizar ruídos, eliminar amostras anômalas e informações sobrepostas da propriedade de interesse, bem como de interferentes. São aplicados antes dos métodos de análises multivariadas (LOPES, 2008). Entre os mais utilizados na área madeireira estão: cálculo da primeira e segunda derivada, que permite corrigir deslocamentos da linha de base e melhorar a separação de sinais não sobrepostos, quando empregado a dados espectrais, gera mudanças na informação processada, podendo ter efeito positivo, ao evidenciar um sinal analítico de interesse, ou ter efeito negativo, ao acentuar ruídos instrumentais e normalização, que é realizada a fim de regularizar a importância relativa de cada variável, assim todas as variáveis se tornam equivalentes em termos de magnitude. A escala do espectro pode ser normalizada dividindo-se cada intensidade espectral pela raiz quadrada da soma dos quadrados

de todas as intensidades do espectro correspondente (FERRARINI, 2004 citado por RIBEIRO, 2012)

Existem diversas técnicas de estatística multivariada, com as mais variadas aplicações. Tais métodos podem ser classificados em dois tipos principais: os métodos de análise exploratória e os métodos de calibração multivariada. A aplicação de um ou outro método, ou até mesmo da combinação, depende da natureza do problema que se deseja resolver, ou do tipo de informação que se deseja obter (MALINOWSKI, 1991 citado por CARNEIRO, 2008).

O objetivo dos métodos de análise exploratória é fazer a avaliação inicial dos dados, para definir diretrizes de estudos e descobrir o tipo de informações possíveis de se extrair deles, feito por meio de algoritmos que permitem reduzir a dimensão dos dados, ou organizá-los numa estrutura que facilite a visualização de todo o conjunto, de forma global (CARNEIRO, 2008).

Na presente revisão ressalta-se somente o Método de Análise por Componentes Principais (PCA), que foi utilizada no tratamento dos dados analisados neste trabalho.

3.3.1 Método de análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (PCA - *Principal Component Analysis*) trata-se de um método matemático qualitativo utilizado para reorganizar informação de um conjunto de dados de amostragem. Muito útil nos dados espectrais, conjuntos de amostras que possuem informações de grande número de variáveis. O que um PCA faz é descobrir novas variáveis, os componentes principais (PCs), que consigam reunir a maioria da variabilidade dos dados. Ou seja, cada componente principal é calculado por forma a reter a maior quantidade de variância presente nas variáveis originais. Isto permite descrever a informação com consideravelmente menos variáveis do que as originalmente presentes (DAVIES e FEARN, 2004 citado por SANTOS 2007).

Carneiro (2008) diz que as componentes principais podem fornecer a percentagem de variância contida em cada fator. Todas as componentes juntas em

um modelo fornecem 100% de variância e a maior percentagem é explicada pela primeira componente principal.

O princípio da PCA é a aproximação da matriz original X em um produto de duas matrizes menores: a matriz de *loadings* L e a matriz de *scores* T , conforme equação 1:

$$X = TP^T \quad (1)$$

Em termos geométricos, os *scores*, colunas em T são as novas coordenadas para o novo sistema de eixos e contém informações a respeito das amostras. Os *loadings*, linhas P , fornecem a direção dos eixos ou componentes principais e estão relacionados com informações sobre as variáveis (CARNEIRO, 2008).

Os mapas de componentes principais permitem, adicionalmente, agrupar amostras com características semelhantes, assim como detectar amostras que não pertencem ao sistema (*outliers*), por algum motivo, ou apenas amostras muito diferentes das restantes.

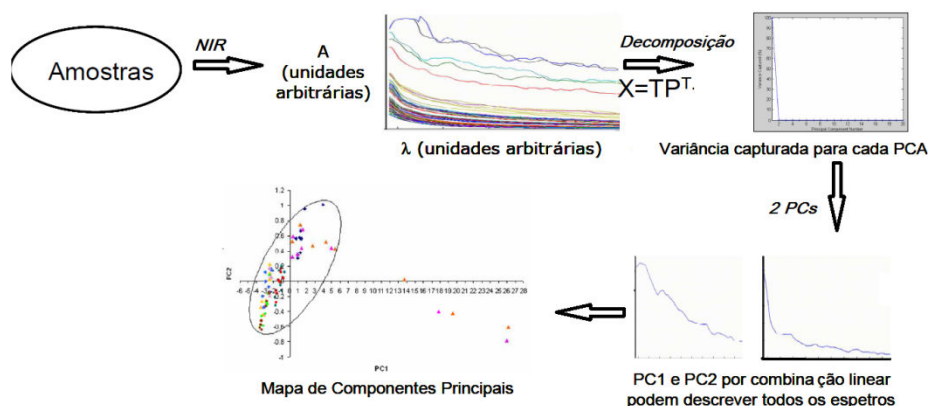


Figura 4 - Etapas envolvidas na Análise de Componentes Principais. Fonte: Adaptado de SANTOS (2008).

3.3.2 Análise de agrupamentos

A análise de agrupamentos, também conhecida como método *cluster analysis*, engloba um número de diferentes algoritmos e métodos de agrupamento

de objetos de diferentes tipos em categorias ou classes. Ou seja, é uma ferramenta de análise exploratória que tem como objetivo agrupar diferentes dados de modo a que o grau de associação seja máximo se estes pertencerem ao mesmo grupo e mínima se o contrário. No algoritmo do vizinho mais próximo, a distância entre dois *clusters* é determinada pela distância dos dois objetos mais próximos nos diferentes *clusters*. O algoritmo começa com k *clusters* aleatórios movendo depois os objetos entre esses com o objetivo de minimizar a variabilidade nos *clusters* e maximizar a variabilidade entre eles. A representação gráfica dos objetos de acordo com o seu grau de semelhança designa-se por dendrograma. O eixo horizontal representa a medida, em unidades adimensionais, do grau de semelhança ao qual os objetos se juntam num grupo (SANTOS, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

As amostras foram provenientes do estado de Minas Gerais, fornecidas pelo atelier Relicário de Conservação e Restauração de Bens Culturais Ltda. Foram recebidos, via correio, pequenos fragmentos de nove imagens, conforme Tabela 1 e Figura 5.

Tabela 1 - Nome das obras analisadas e sua origem.

OBRA	ORIGEM
Sacrário do Retábulo	Minas Gerais – MG
Oratório de Nossa Senhora da Piedade	Indefinido
São Jose de Botas	Tocantins – MG
Nossa Senhora das Dores	Tocantins – MG
Senhor do Passos	Tocantins – MG
São Miguel	Portugal
Sagrado Coração de Jesus	Dores do Turvo – MG
Nossa Senhora da Piedade	Chácara – MG
Senhor Morto	Tocantins – MG



Figura 5 - Fragmentos das obras estudadas.

A figura 6 ilustra algumas das obras em estudo.



Figura 6 - Imagens Sacras.

4.2 Métodos

4.2.1 Identificação anatômica

Para a identificação anatômica, utilizou-se o método microscópico. Foram retiradas seções anatômicas na menor espessura possível, de forma manual com o auxílio de gilete, orientadas nos três eixos anatômicos (transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial), as quais foram coradas, desidratadas e montadas em lâminas temporárias. As imagens foram obtidas em microscópio Olympus CX-40 com câmera digital Olympus Camedia C-3000 acoplada. Foi seguida a recomendação da *International Association of Wood Anatomists* (IAWA, 1989) para análise dos elementos celulares.

4.2.2 Espectroscopia no infravermelho próximo

Foram obtidos leituras em absorbância com resolução de 4 cm^{-1} e 64 varreduras, diretamente dos fragmentos de madeira, na superfície longitudinal, num total de 20 espectros por obra. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro FTIR Tensor 37 da marca Bruker, operando na faixa do infravermelho próximo entre $(4000\text{ e }10000)\text{ cm}^{-1}$. A Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise por Agrupamento foi efetuada com o auxílio do software Unscramble®, versão 10. A obtenção dos espectros e análises seguiu a norma ASTM 1655-05.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Identificação anatômica

A amostra Senhor Morto apresenta madeira com porosidade difusa, poros solitários, geminados e múltiplos radiais até três, placa de perfuração simples, pontoações intervasculares multisseriadas alternas. Fibras de parede espessa, septadas. Parênquima axial escasso e vasicêntrico. Raios homogêneos, uni e bisseriados, não estratificados. Cristais em série presentes. A figura 7 ilustra as características gerais do material. A amostra foi identificada como vinhático (*Plathymenia* sp.).

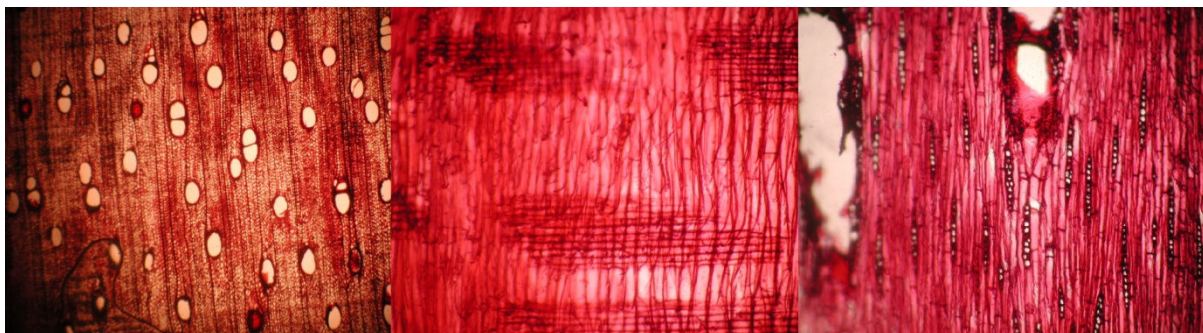


Figura 7 - Planos transversal, radial e tangencial do vinhático. Fonte Laboratório de anatomia e qualidade da madeira UFPR.

A amostra Nossa Senhora da Piedade apresenta madeira com porosidade difusa, poros agrupados, geralmente em grupos radiais curtos (de 2–3 vasos), placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas. Fibras de parede média, septadas. Parênquima axial em faixas. Raios fracamente heterogêneos, uni e multisseriados, não estratificados. Cristais presentes, presença de sílica. A figura 8 mostra as características gerais da amostra que foi identificada como cedro marinho (*Guarea* sp.).

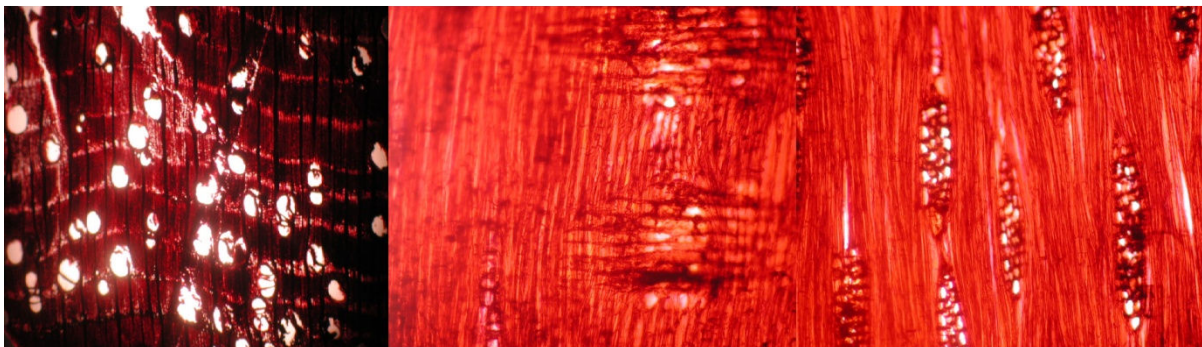


Figura 8 - Planos transversal, radial e tangencial da espécie cedro marinho. . Fonte Laboratório de anatomia e qualidade da madeira UFPR.

A amostra da imagem do Sagrado Coração de Jesus apresenta madeira com porosidade difusa tendendo a anel semiporoso, poros solitários, geminados e múltiplos, com presença de tilos, placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas. Espessamento espiralado em todos os vasos. Fibras com parede de espessura variável, fina à média, não septadas. Parênquima axial em faixas marginais. Raios homogêneos, uni e bisseriados, não estratificados. A figura 9, traz a visão geral dos planos anatômicos. Concluiu-se que a espécie é a tília (*Tilia americana*).

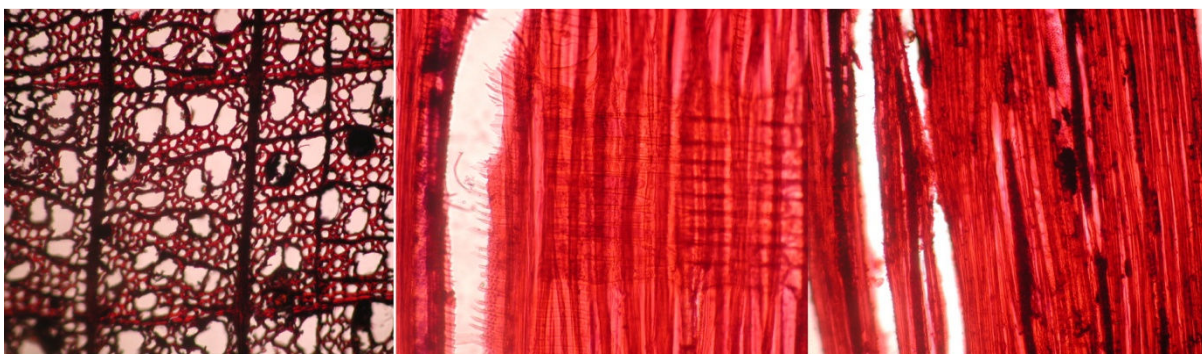


Figura 9 - Planos transversal, radial e tangencial da espécie Tilia. Fonte Laboratório de anatomia e qualidade da madeira UFPR

As amostras pertencentes à imagem de São José de Botas possuem porosidade difusa, poros solitários e geminados em maioria, placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas. Fibras de paredes de espessura média, septadas. Parênquima axial em faixas, aparentemente marginais. Raios multisseriados, não estratificados, com cristais. A figura 10 apresenta imagens dos

planos transversal e tangencial, sucessivamente, da amostra São Jose de Botas que foi identificada como mogno africano (*Entandrophragma* sp.)

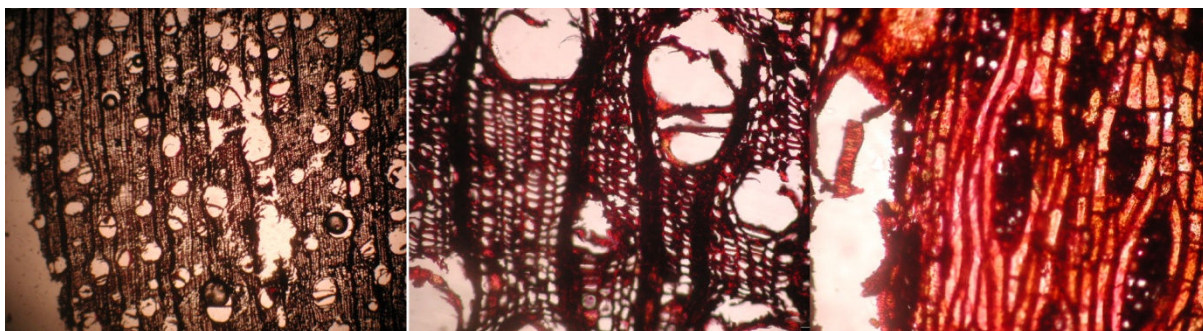


Figura 10 - Planos transversal e tangencial da espécie mogno africano. Fonte Laboratório de anatomia e qualidade da madeira UFPR.

As amostras Sacrário do Retábulo, Oratório de Nossa Senhora da Piedade, Senhor dos Passos, São Miguel e Nossa Senhora das Dores, foram identificadas como cedro ou *Cedrela* sp. (Figura 11).

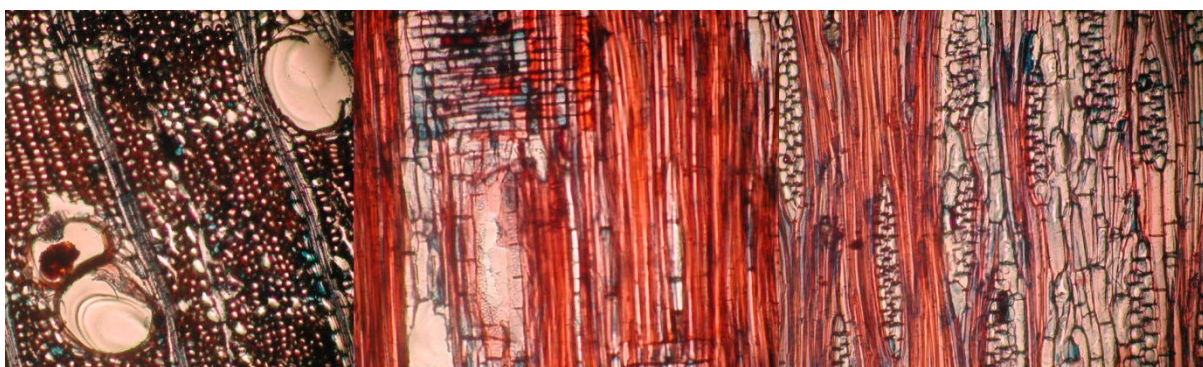


Figura 11 - Planos transversal, radial e tangencial da espécie cedro. Fonte Laboratório de anatomia e qualidade da madeira UFPR.

As amostras apresentam madeira de porosidade em anel poroso ou semiporoso, vasos solitários e geminados, placa de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas. Fibras de parede fina, não septadas. Parênquima axial em faixas marginais, largas, vasicêntrico e raramente aliforme. Raios heterogêneos, multisseriados, não estratificados. Cristais presentes.

O resumo das identificações é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Identificação das espécies de madeiras referentes às obras.

OBRA	ESPÉCIE	NOME COMUM
Senhor Morto	<i>Plathymenia</i> sp	Vinhático
Nossa Senhora da Piedade	<i>Guarea</i> sp	Cedro marinho
Sagrado Coração de Jesus	<i>Tilia americana</i>	Tilia
São José de Botas	<i>Entandrophragma</i> sp	Mogno africano
Sacrário do Retábulo	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro
Oratório Nossa Senhora da Piedade	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro
Senhor dos Passos	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro
São Miguel	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro
Nossa Senhora das Dores	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro

5.2 Espectroscopia no infravermelho próximo

Os espectros médios, representando cada uma das amostras, incluindo amostras de cedro são mostrados na Figura 12. O cedro foi incluído na coleta dos dados, a fim de comparação, baseado na literatura que ressalta que as imagens sacras eram confeccionadas em sua maioria de cedro.

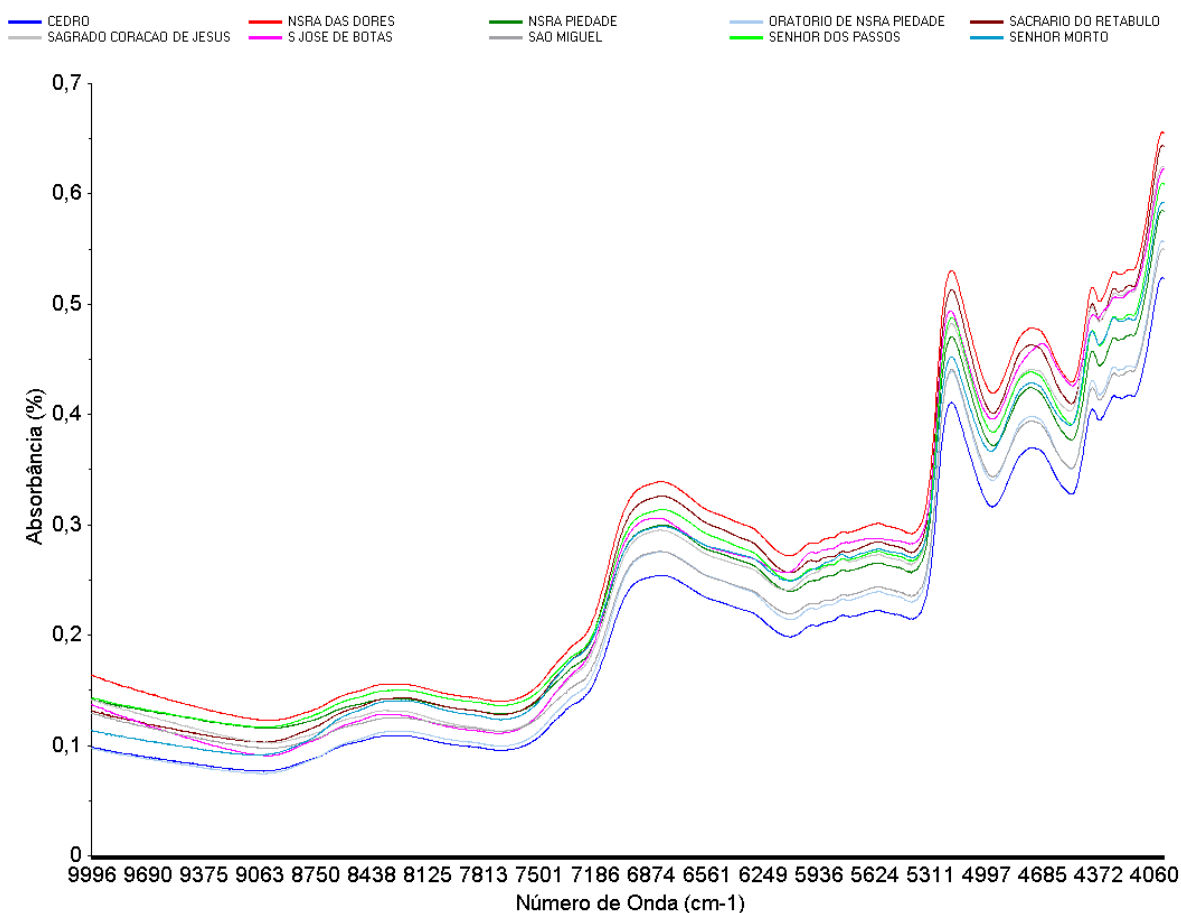


Figura 12 - Espectros de absorvância das amostras.

As amostras das diferentes imagens sacras usadas neste estudo eram visivelmente homogêneas, não apresentando nenhum pico contrastante, portanto se faz necessário a aplicação de um modelo matemático. Foi feita uma análise de componentes principais (PCA) com os espectros obtidos e o respectivo mapa de encontra-se na Figura 13.

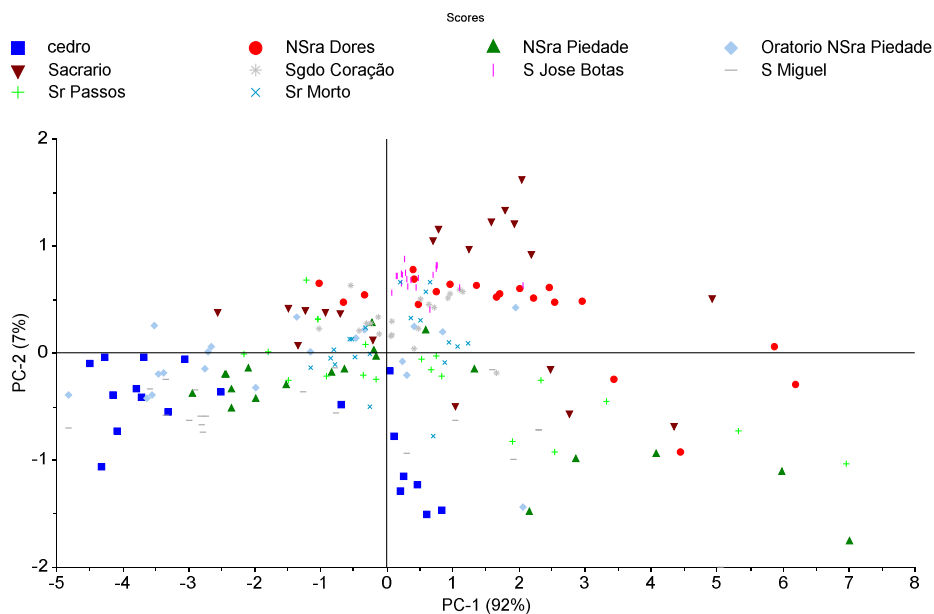


Figura 13 - Agrupamento das imagens sacras, sem pré- tratamento, pela Análise de Componentes Principais

Observando o mapa de componentes principais da Figura 13, denotam-se diferenças significativas entre os vinte espectros de cada amostra para a maioria das imagens analisadas. Sugere-se assim a necessidade de homogeneização das amostras, para isso submeteu-se os espectros ao pré-tratamento cálculo da segunda derivada, representados na figura 14.

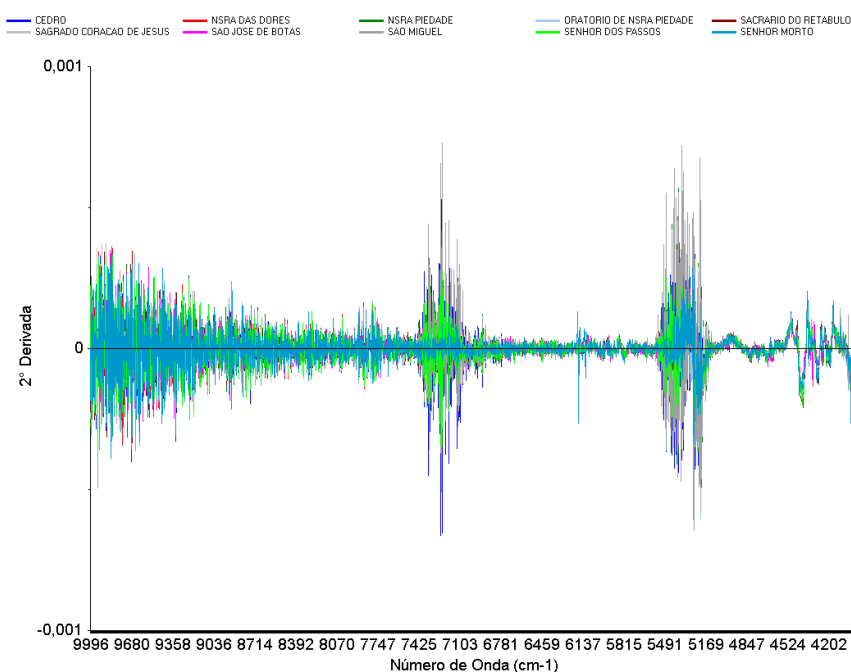


Figura 14 - Espectros segunda derivada das amostras.

A Figura 15 refere-se ao mapa das componentes principais dos espectros com pré-tratamento de segunda derivada.

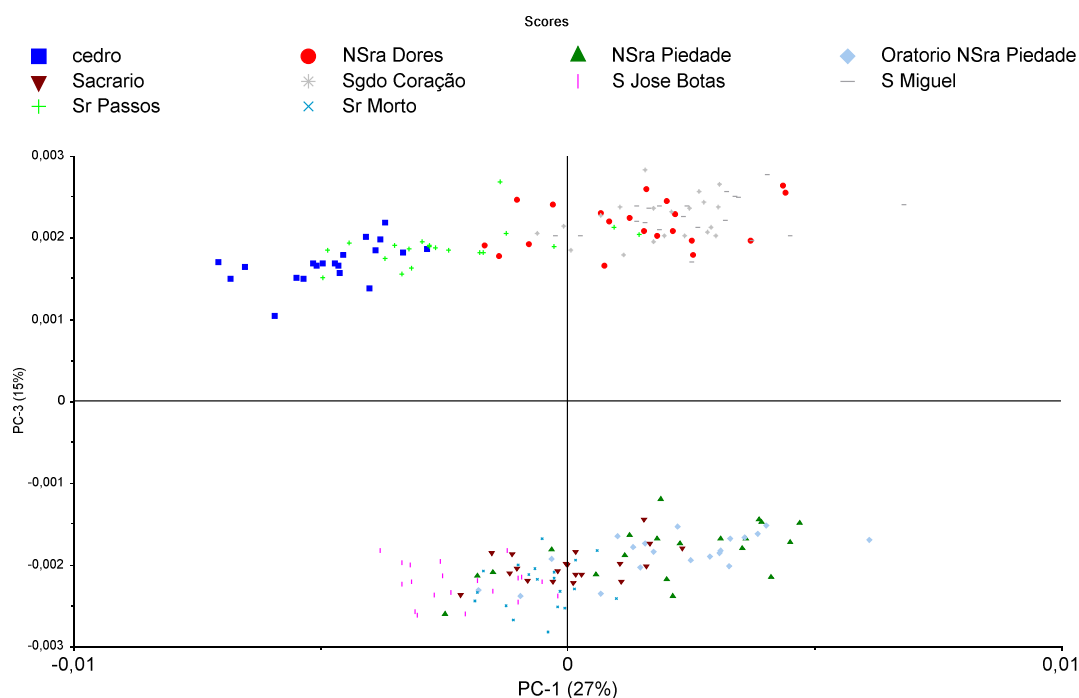


Figura 15 - Agrupamento das imagens sacras, espectros em segunda derivada, pela Análise de Componentes Principais.

Observando a Figura 15, denota-se a separação em dois grupos, um, confirmando que o cálculo da segunda derivada é um pré-tratamento adequado para as amostras em estudo. As amostras identificadas como Senhor dos Passos, Nossa Senhora das Dores, Sagrado Coração e São Miguel agrupam-se com a amostra de cedro. No entanto, Sagrado Coração trata-se da espécie *Tilia* e as demais cedro, anteriormente identificadas por métodos anatômicos. Isso pode ser explicado devido à presença de organismos xilófagos, que alteraram a porosidade, visivelmente perceptível devido às galerias presentes no material. Quando se refere ao grupo representado na parte inferior do mapa, tem-se São José de Botas (mogno africano) Nossa Senhora da Piedade (cedro marinho) com características anatômicas semelhantes, e o Senhor Morto (vinhático), porém agrupam-se também Sacrário do Retábulo e o Oratório de Nossa Senhora da Piedade, imagens confeccionadas a partir da espécie de cedro, possivelmente isso ocorreu, devido à presença de tintas e colas de origem animal nas amostras e seu grau de deterioração.

A figura 16 representa uma análise de agrupamentos utilizada para quantificar as distâncias observadas no mapa de componentes principais entre as diferentes

amostras, a partir da matriz contendo os espectros originais. Foi usado o algoritmo do vizinho mais próximo, sendo traçado um dendrograma que mostra a distância entre as amostras.

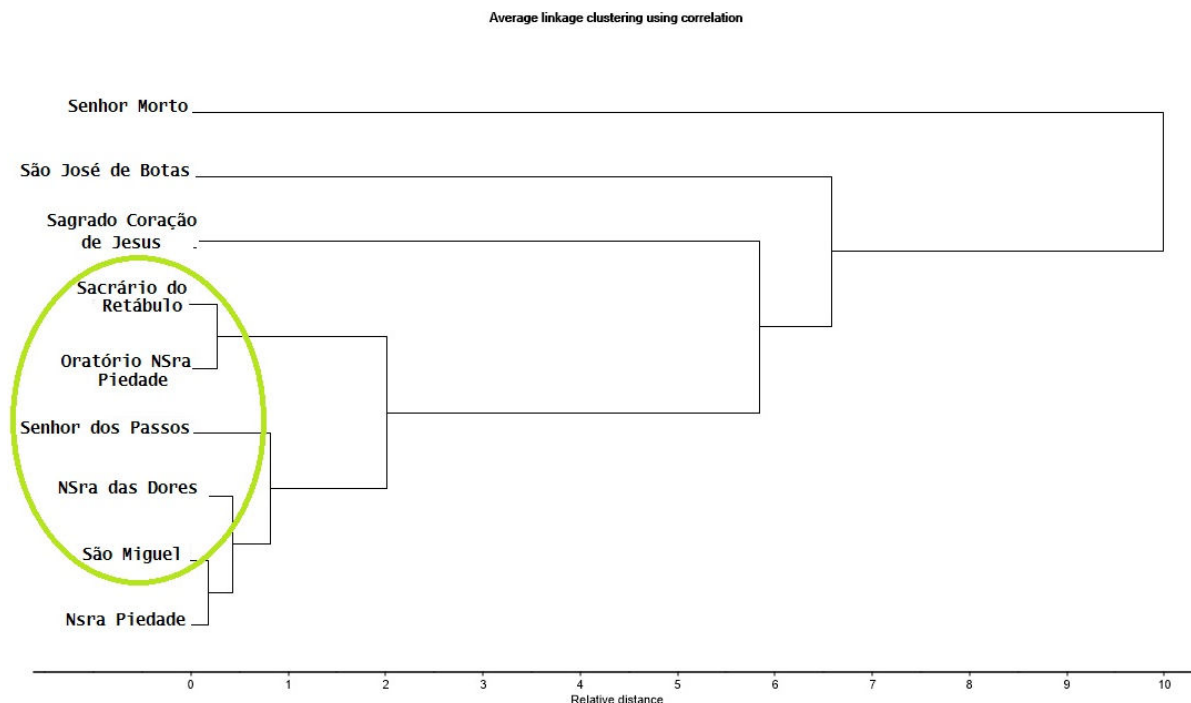


Figura 16 - Análise de agrupamento das amostras originais.

Observando a Figura 16 contendo as amostras originais, verifica-se que as amostras identificadas como cedro, Senhor dos Passos, Nossa Senhora das Dores, São Miguel, Sacrário do Retábulo e Oratório de Nossa Senhora da Piedade se agruparam. A presença da amostra de Nossa Senhora da Piedade pode ser explicado por se tratar da espécie cedro marinho (*Guarea* sp.), espécie a qual apresenta características anatômicas e cor semelhante ao cedro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espectroscopia no infravermelho próximo é uma técnica não destrutiva e rápida, que se mostra promissora na identificação e separação de espécies, sendo necessárias amostras para calibração dos equipamentos abrangendo toda a variação estrutural existente entre e dentro das árvores.

O uso da técnica na Arte Sacra se mantém válido, porém apresenta-se sensível ao tipo do material, que comumente encontram-se degradados, hospedando organismos xilófagos, além de possuírem resquícios de tintas, colas e outras resinas utilizadas na confecção ou restauro da obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEDIPE, O. E.; DAWSON-ANDOB, B.; SLAHOR, J.; OSBORN, L. Classification of red oak (*Quercus rubra*) and white oak (*Quercus alba*) wood using a near infrared spectrometer and soft independent modeling of class analogies. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.16, n.1, p.49-57, 2008.

ALCÂNTARA, A. S. **Paulistinhas: imagens sacras, singelas e singulares**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Programa de Pós-Graduação em Artes Visuais. São Paulo, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standards practices for infrared multivariate, quantitative analysis**, E1655, vol 03.06. West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2000.

BARBOSA, L. C. A. **Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 189p.

BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. (Dissertação) Universidade Federal de Viçosa, 2007.

BRERETON, R. C. **Applied Chemometrics for Scientists**. John Wiley & Sons, Inglaterra, 2007.

BRUNNER, M; EUGSTER, R; TRENKA, E; BERGAMIN-STROTZ, L. FTNIR spectroscopy and wood identification. **Holzforschung** v.50, n.22, p.130–134,1996.
CARNEIRO, M. E. **Classificação de lâminas de madeira de *Pinus spp* por espectroscopia óptica**. Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CASTILLO, R.; CONTRERAS, D.; FREER, J.; RUIZA, J.; VALENZUELA, S. Supervised pattern recognition techniques for classification of eucalyptus species from leaves nir spectra. **Journal of Chilean Chemical Society**, v.53, n.4, p.1709-1713, 2008a.

CASTILLO, R.; OTTO, M.; FREER, J.; VALENZUELA, S. Multivariate strategies for classification of *Eucalyptus globules* genotypes using carbohydrates content and NIR spectra for evaluation of their cold resistance. **Journal of Chemometrics**, v.22, n.3-4, p.268-280, 2008b.

COELHO, B. **Devoção e Arte: Imaginária Religiosa em Minas Gerais**. Editora Edusp. São Paulo, 2005.

CORE, H.A.; CÔTÉ, W.A.; DAY, A.C. **Wood structure and identification**. USA: Syracuse University Press, 1979. 182p.

CSOKA, L.; ZHU, J.; TAKATA, K. Application of the Fourier analysis to determine the demarcation between juvenile and mature wood. **Journal of Wood Science**, v.51, n.3, p. 309–311, 2005.

DALLAGNOL, F. S. **Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. Curitiba, 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

EASTY, D. B.; BERBEN, S. A. Near-infrared spectroscopy for the analysis of wood pulp: quantifying hardwood-softwood mixtures and estimating lignin content. **Tappi Journal**, v.73, n.10, p.257-261, out 1990.

EVANS, P.; HEADY, R.; CUNNINGHAM, R. Identification of yellow stringybark (*Eucalyptus muelleriana*) and silvertop ash (*E. sieberi*) wood is improved by canonical variate analysis of ray anatomy. **Australian Forestry**, v.71, n.2, p.94-99, jun 2008.

FURUMOTO, H; LAMPE, U; MEIXNER, H; ROTH, C. Infrarotanalyse zur Messung der Holzqualität. **Holz als Roh- und Werkstoff** v.57, n.1, p.23-28, 1999.

HUANG, A.; ZHOU, Q.; FEI, B.; SUN, S. Study on the eucalyptus and poplar by generalized two-dimensional infrared correlation spectroscopy. **Spectroscopy and spectral analysis**, v.28, n.8, p.1749-1752, aug 2008.

IAWA. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v.10, n.3, p.219-332, 1989.

KAWANO, Y. Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho. In: Canevarolo Jr., Sebastião. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2003. p.17-39.

LEMES, J.P.B. **O barroco no Brasil: arte e educação nas obras de Antonio Francisco Lisboa**. Maringá, 2012. Dissertação (Mestrado em Educação / História) - Universidade Estadual de Maringá.

LOPES, M C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 130 p. Curitiba, 2008.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de Características das Madeiras Brasileiras**. 2a ed. São Paulo: IPT, 1989. 418p.

MIDORIKAWA, Y.; FUJITA, M. Transverse shape analysis of xylem ground tissues by Fourier transform image analysis II: cell wall directions and reconstruction of cell shapes. **Journal of Wood Science**, v.51, n.3, p.209-217, 2005.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

PEREIRA, W.A. **Calibração multivariada de misturas de óleos vegetais utilizando espectroscopia no infravermelho médio**. Campina Grande, 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias / Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar) - Universidade Estadual da Paraíba.

POPESCU, C.M. *et al.* Vibrational spectroscopy and X-ray diffraction methods to establish the differences between hardwood and softwood. **Carbohydrate Polymers**, v.77, n.4, p.851-857, 2009.

PRADO E SILVA, A. **Novo Dicionário Brasileiro**. São Paulo. Melhoramentos, 1977.

RANA, R.; MUELLER, G.; NAUMANN, A.; POLLE, A. FTIR spectroscopy in combination with principal component analysis or cluster analysis as a tool to distinguish beech (*Fagus sylvatica* L.) trees grown at different sites. **Holzforschung**, v.62, n.5, p.530-538, sep 2008.

RIBEIRO, L.F. **Uso de espectroscopia no infravermelho e análise multivariada para previsão de ácidos graxos em linhaça dourada e marrom**. Curitiba, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

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**. Lisboa 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) - Universidade Técnica de Lisboa.

SCHIMLECK, L.R; MICHELL, A.J; VINDEN, P. Eucalyptus wood classification by NIR spectroscopy and principal components analysis. **Appita Journal**, v.49, p.319–324, 1996.

SO, C.L.; EBERHARDT, T. L. Rapid analysis of inner and outer bark composition of Southern Yellow Pine bark from industrial sources. **Holz als Roh – und Werkstoff**, v.64, n.6, p.463-467, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TSUCHIKAWA, S.; INOUE, K.; NOMA, J.; HAYASHI, K. Application of near-infrared spectroscopy to wood discrimination. **Journal of Wood Science**, v.49, n.1, p. 29-35, 2003a.

YONENOBU, H.; TSUCHIKAWA, S. Near infrared spectroscopic comparison of antique and modern wood. **Applied Spectroscopy**, v.57, n.11, p.1451–1453, 2003.