

JOSÉ REINALDO MOREIRA DA SILVA

**RELAÇÕES DA USINABILIDADE E ADERÊNCIA DO VERNIZ COM AS
PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DO *Eucalyptus grandis* HILL EX.
MAIDEN**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de “Doutor em Ciências Florestais”, Área de Concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Graciela Inés Bolzon de Muñiz

CURITIBA – 2002

A Deus.

A minha mulher Soraya e minha filha Júlia.

Aos meus pais Sebastião e Dinorah e à minha sogra Dona Maria.

Aos meus irmãos e aos meus cunhados.

Aos meus sobrinhos.

Aos meus demais parentes.

Aos meus verdadeiros amigos.

À sociedade brasileira.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À DEUS, minha razão de viver.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Universidade Federal do Paraná (UFPR), em especial à pós-graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade oferecida para realização do curso de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Programa PICDT, pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

À professora Graciela Inés Bolzon de Muñiz, pelos ensinamentos, orientação, amizade e respeito às idéias de seus orientados.

Aos professores Jorge Luís Monteiro de Matos, José Tarcísio de Lima e Umberto Klock, pelas colaborações prestadas como co-orientadores e pela amizade.

Aos professores Arnaud Bonduelle e Paulo Fernando Trugilho pelos ensinamentos, orientações e apoio na realização deste trabalho e em especial, pela amizade.

Aos demais professores do programa de pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR, pelos ensinamentos, convívio e amizade.

À empresa Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A., pela doação da madeira e apoio logístico durante a coleta do material.

À empresa Araupel S.A., antiga Cascol Indústria Madeireira, pela execução do desdobro e secagem da madeira.

À empresa Sayerlack S.A. e à Adere Produtos Auto-adesivos LTDA., pela doação dos produtos de acabamento e fitas para execução dos testes de aderência, respectivamente.

Ao SENAI/CETMAM, nas pessoas de seus funcionários, pela concessão do maquinário para execução dos testes de usinagem e de acabamento.

Ao SENAI/CFP-JAGS (Ubá/MG), pela ajuda na confecção do riscador de grã e pelo convívio e troca de informações técnicas que sem dúvida me forneceram conhecimentos valiosos sobre a madeira, de fundamental importância para conseguir vencer mais uma etapa importante na minha vida profissional.

Ao Herbário da UFPR, através do Professor Roderjan que realizou a identificação e catalogação da espécie.

Ao acadêmico Ezequiel pelo auxílio nas análises químicas da madeira e pela sincera amizade.

Aos funcionários dos laboratórios da UFPR pelo reconhecimento de suas atividades e profissionalismo, que foram de fundamental importância para a realização deste trabalho.

Ao amigo Leopoldo Saldanha pelo valoroso auxílio nas operações de usinagem.

À Silvana Nisgoski e ao IPT, na pessoa do Sr. Geraldo Zenid, pelo auxílio na obtenção dos cortes anatômicos para confecção das lâminas histológicas permanentes.

À Embrapa Florestas, na pessoa da Eng^a Patrícia Povia pelas afiações das navalhas para o micrótomo.

Às amigas Dayane, Gisele e Márcia pelo auxílio nas práticas de laboratório.

Aos professores Arnaud (UFPR), Gerson Selle (CEPEF/UFSM), Hernando (UNESP), José Tarcísio (UFES), Luciano Bet (UFRN), Márcio (UFPR), e Santini (UFSM) pelo auxílio no levantamento bibliográfico.

Aos professores Adler e William do Departamento de Engenharia Mecânica (UFPR) e à Mitutoyo, na pessoa do Sr. Marcelo, pelo auxílio nas tentativas de qualificar a superfície usinada.

Ao professor Edílson Batista de Oliveira (Embrapa Floresta, Colombo/PR) pelo auxílio nas análises estatísticas.

À biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira, da UFPR, na pessoa da Senhora Tânia Bággio, pela ajuda na revisão das referências bibliográficas.

Aos professores da área de Tecnologia da Madeira do DCF/UFLA – Fabio, José Tarcísio, Lourival e Paulo pela substituição nas atividades durante a realização deste curso. Estejam certo de que vocês fazem parte desta alegria e certamente, com meu retorno poderemos colher juntos os frutos desta vitória, nesse agradável ambiente de trabalho.

Ao professor Sebastião do Amaral, pela amizade, convívio e segurança nos conhecimentos profissionais.

À minha mulher **Soraya** e minha filha **Júlia**, que pacientemente doaram parte do tempo familiar. Certamente, em nenhum momento, nunca esqueci de vocês. **Amo muito vocês.**

Aos meus pais queridos Tião e Lalá, minha eterna gratidão pela vida, pela criação, pelo carinho. Estou certo que não mediram esforços em nenhuma etapa, então essa vitória também é de vocês.

À minha cunhada Leda (carinhosamente Isaura), que não mediu esforços, tornando-se a segunda mãe e “segundo pai” da pequena Júlia, me promovendo mais tempo livre durante a coleta de dados, sincero obrigado.

Aos meus avós (in memoriam) que certamente me conduziram ao gosto de trabalhar com a madeira (João do Sítio - marceneiro de natureza) e a arte de buscar a perfeição, respeitando as propriedades do material (José Moreira – alfaiate por vocação), estejam certos do dever cumprido.

Aos demais familiares pelo carinho, pela dedicação, pelo incentivo e principalmente por terem sido privados de atividades para que eu pudesse me desenvolver na vida acadêmica.

Aos amigos e colegas de curso Alba Valéria, Alexandre, Alexsandro, Ana Cláudia, Ana Raquel, Camargo, Carlos, Cláudio, Christine, Clair, Débora, Eduardo, Eremar, Elianice, Fabio, Fernando, Guadalupe, Guilherme, João Vicente, José Caron, Karinne, Lima, Marcos, Martha, Nabor, Nilton, Paixão, Ricardo, Rubens, Sanatiel, Selma, Sérgio, Silvana e Walter pela amizade, companheirismo, sinceridade em todas as etapas do curso.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais da UFLA, pela amizade e pela ajuda na solução dos problemas durante minha ausência.

Aos funcionários dos departamentos da UFPR e da FUPEF, pela amizade e informações pertinentes, embora, às vezes, simples, mas valiosas.

Aos amigos Alan, Allan, Cristiane, Daniel, Eduardo, Prata, Silvia e Valdir pelo convívio e amizade.

Ao amigo Leif Nutto pelas traduções dos complicados textos em alemão.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

JOSÉ REINALDO MOREIRA DA SILVA, filho de Sebastião de Castro e Silva e Dinorah Moreira da Silva, nasceu em 29 de julho de 1967, em Viçosa, Minas Gerais.

Concluiu curso primário na Escola Estadual Presidente Bernardes; o colegial na Escola Estadual Dr. Raimundo Alves Torres e o científico no Colégio Universitário da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa/MG.

Em janeiro de 1991, graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

Em setembro de 1993, concluiu o curso de Mestrado em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa/MG, obtendo o título de “Magister Scientiae”.

Em fevereiro de 1994 foi contratado como técnico do laboratório de madeiras e derivados do Centro de Formação Profissional “José Alencar Gomes da Silva” – SENAI/CFP-JAGS, em Ubá/MG, na área de marcenaria e mobiliário.

Em julho de 1996 foi contratado como professor visitante pelo Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, em Lavras/MG.

Em outubro de 1997 ingressou, através de concurso público federal, no quadro definitivo de docentes da Universidade Federal de Lavras.

Em março de 1999 ingressou no curso de Doutorado em Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração – Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais. Em Dezembro de 2002, concluiu os requisitos necessários à obtenção de título de Doutor em Ciências Florestais.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE QUADROS	xvii
RESUMO	xxi
ABSTRACT	xxii
RESUMÉ.....	xxiii
ZUSAMMENFASSUNG	xxiv
RESUMEN	xxvi
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. OBJETIVOS GERAIS.....	02
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	02
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1. PROPRIEDADES ANATÔMICAS.....	05
2.2. PROPRIEDADES FÍSICAS	12
2.3. PROPRIEDADES QUÍMICAS	19
2.4. OPERAÇÕES DE USINAGEM	23
2.5. ACABAMENTOS SUPERFICIAIS	41
3. MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE COLETA DAS ÁRVORES	43
3.2. DESCRIÇÃO DO MATERIAL E COLETA DOS DADOS	43
3.3. ANÁLISES ANATÔMICAS	50
3.3.1. Preparação das lâminas histológicas permanentes	50
3.3.2. Maceração	51
3.3.3. Ângulo da grã	52
3.4. ANÁLISES FÍSICAS	54
3.5. ANÁLISES QUÍMICAS	55

3.6. TESTES DE USINAGEM	56
3.6.1. Desempeno e desengrosso	61
3.6.2. Moldura axial “parada”	62
3.6.3. Moldura no topo	63
3.6.4. Perfilagem axial sinuosa com faca plana	63
3.6.5. Rasgo na furadeira horizontal	64
3.6.6. Fresagens axial e transversal na tupia superior	64
3.6.7. Furação para cavilhas	65
3.6.8. Furação para dobradiça	66
3.7. TESTES DE ADERÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL	67
3.8. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	69
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
4.1. POTENCIAL DENDROMÉTRICO	70
4.2. DESCRIÇÃO GERAL DAS CARACTERÍSTICAS DO LENHO	72
4.3. PROPRIEDADES ANATÔMICAS	72
4.3.1. Dimensões das fibras	74
4.3.2. Vasos	79
4.3.3. Parênquima radial	82
4.3.4. Ângulo da grã	85
4.3.5. Composição do tecido por tipo de células	87
4.4. PROPRIEDADES FÍSICAS	91
4.4.1. Contrações lineares, volumétricas e coeficiente de anisotropia ..	91
4.4.2. Massa específica básica	96
4.5. PROPRIEDADES QUÍMICAS	97
4.5.1. Solubilidade da madeira	97
4.5.2. Percentuais de extrativos totais, lignina insolúvel e cinzas	100
4.6. OPERAÇÕES DE USINAGEM	103
4.6.1. Desempeno	106

4.6.2. Desengrosso.....	107
4.6.3. Moldura axial “parada”	108
4.6.4. Moldura no topo.....	110
4.6.5. Perfilagem axial sinuosa com faca plana.....	112
4.6.6. Rasgo na furadeira horizontal	114
4.6.7. Fresagens axial e transversal na tupia superior.....	115
4.6.8. Furação para cavilhas	116
4.6.9. Furação para dobradiça	117
4.7. ADERENCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	118
4.8. ESTUDO DAS CORRELAÇÕES ENTRE AS OPERAÇÕES DE USINAGEM E ADERÊNCIAS DO VERNIZ COM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA	120
4.8.1. Correlações com as características das fibras	120
4.8.2. Correlações com as características dos vasos	124
4.8.3. Correlações com as características do parenquima radial.....	126
4.8.4. Correlações com o ângulo da grã	127
4.8.5. Correlações com os percentuais de tecido por tipo de célula.	128
4.8.6. Correlações com as propriedades físicas.....	132
4.8.7. Correlações com as propriedades químicas.....	134
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	136
5.1. CONCLUSÕES	136
5.2. SUGESTÕES	138
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	140
ANEXOS.....	145

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Aspecto ilustrativo das técnicas de se cortar a madeira, sendo V_c = velocidade de corte da serra circular e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira.....	25
Figura 2. Aspectos ilustrativos dos ângulos básicos dos dentes de uma serra circular, sendo α = ângulo livre; β = ângulo de cunha e γ = ângulo de ataque.....	26
Figura 3. Valores normativos de um aplainamento, sendo f_z = avanço por dente, t = profundidade do arco de ciclóide, V_c = velocidade de corte do rolo de facas e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira.....	27
Figura 4. Magnitudes das pré-clivagens na madeira, em função da usinagem, sendo a = corte longitudinal; b = corte transversal; c = corte no topo, V_c = velocidade de corte das facas e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira.....	30
Figura 5. Uso de contra-facas para redução da pré-clivagem na madeira, sendo a = usinagem sem as contra-facas; b = usinagem com as contra-facas; n = frequência de rotação do eixo porta facas e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira. Em destaque as regiões de pré-clivagem e as qualidades obtidas.....	31
Figura 6. Aparato, do tipo ótico, utilizado para mensurar a qualidade da quina em uma chapa revestida.....	33
Figura 7. Instrumento usado para medição da qualidade de superfícies usinadas de uma chapa revestida, sendo LP = leitura padrão, LD = Leitura do defeito (profundidade), P = processamento dos dados por diferença e Q = qualidade registrada.....	33
Figura 8. Medição da superfície usinada/lixada com instrumento de arraste, que possuía agulha rígida com ponta de diamante (raio de 3 μm).....	34
Figura 9. Padrões de qualidade de superfícies usinadas, sendo a e b as superfícies obtidas em processo de ferramentas/lixas alinhadas e desalinhadas, respectivamente; 1- lixamento linear tipo vai e vem; 2- lixamento tangencial tipo circular; 3- usinagem com dentes inclinados e 4- lixamento utilizando grãos soltos.....	34
Figura 10. Ilustração esquemática das qualidades de superfícies lixadas obtidas a partir de estéreo-microscópio eletrônico de luz inclinada, sendo a - perfil resultante; b - imagem obtida, 1- lixamento linear tipo vai e vem; 2- usinagem com dentes inclinados e 3- lixamento utilizando grãos soltos.....	35

Figura 11. Aparato, com sensor de arraste, utilizado para mensurar a qualidade das quinas dos cantos usinados de chapas revestidas.....	36
Figura 12. Ilustração dos diferentes tipos de perfis, segundo Sander, citado por Bet (1999).....	38
Figura 13. Desvio das formas, através de representação em uma seção de perfil para a superfície, sendo a-, b-, c- e d-, os respectivos desvios de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordens; e- superposição desses desvios.....	39
Figura 14. Foto de uma superfície de madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> desengrossada, nota-se a presença dos vasos e pedaços de paredes (aumento 20X).....	41
Figura 15. Esquema de retirada da segunda tora de três metros de comprimento, localizada entre três e seis metros de altura e os discos D ₃ , a três metros e D ₆ , a seis metros.....	45
Figura 16. Esquema de retirada das amostras nos discos, com indicação do posicionamento na tora, através da seta, indicação do disco (letra A) e das amostras para as análises anatômicas (A ₀ , A ₃ , A ₆ , A ₁), físicas (F ₀ , F ₃ , F ₆ , F ₁) e químicas (Q ₀ , Q ₃ , Q ₆ , Q ₁) nas posições 0, 33, 66 e 100%, respectivamente.....	46
Figura 17. Esquema de separação das três regiões nas toras, sendo E = externa; I = intermediária e C = central.....	47
Figura 18. Esquema de desdobro utilizado na serra de fita. Os números representam a seqüência dos cortes realizados.....	48
Figura 19. Tábuas identificadas por região e empilhadas para a secagem...	49
Figura 20. Instrumento usado para medição do ângulo da grã, sendo A = agulha de gramofone; H = haste em aço; C = cabo de madeira com movimento pivotante.....	54
Figura 21. Esquema da medição das contrações radiais e tangenciais.....	55
Figura 22. Esquema de retirada dos corpos-de-prova para o teste de usinagem, sendo D = descarte; U = amostra de 800 mm para os testes de usinagem; A = sobra para os testes de acabamento.....	57
Figura 23. Corpos-de-prova para os testes de usinagem, entabicados sobre pallets nas salas de máquinas do SENAI/CETMAM.....	58

Figura 24. Corpo-de-prova das operações de usinagem, sendo Dg= desengrosso; Dp= desempenho; Fa= fresagem axial; Fc= furação para cavilha; Fd= furação para dobradiça; Ft= fresagem transversal; Ma= moldura axial “parada”; Mt= moldura no topo; Pa= perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg= rasgo na furadeira horizontal.....	59
Figura 25. Cabeçote (a) e faca perfilada, modelo LEN - perfil 24 (b) utilizados nas operações de moldura axial “parada” e de moldura no topo.....	62
Figura 26. Aspecto ilustrativo da operação de rasgo no canto, executado em uma furadeira horizontal.....	64
Figura 27. Fresa utilizada na operação de fresagem axial e transversal na tupia superior, sendo NL = comprimento de corte; GL = comprimento total; D = diâmetro de corte; d = diâmetro da haste.....	65
Figura 28. Medição do arrancamento das fibras na operação de furo para dobradiça, onde c = comprimento máximo do arrancamento de fibras.....	67
Figura 29. Teste de aderência do verniz através do destacamento na intersecção e ao longo das incisões pelo método de incisões cruzadas, detalhe do material necessário.....	68
Figura 30. Distribuição e comparação múltipla das médias dos comprimentos das fibras, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	75
Figura 31. Distribuição e comparação múltipla das médias dos diâmetros internos ou lume das fibras, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	77
Figura 32. Distribuição e comparação múltipla das médias das espessuras de paredes das fibras, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey....	78
Figura 33. Distribuição e comparação múltipla das médias da fração parede (%), em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	78

Figura 34. Distribuição e comparação múltipla das médias para vasos por milímetro quadrado, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	81
Figura 35. Distribuição e comparação múltipla das médias para o diâmetro tangencial dos vasos, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	82
Figura 36. Distribuição e comparação múltipla das médias para a altura média de cada célula do raio, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste Tukey.....	84
Figura 37. Fenômeno da grã entrecruzada, sendo a= amostra de madeira retirada na fronteira entre as regiões intermediária e externa; b= amostra retirada na região externa; Tv= plano transversal; Rd= plano longitudinal radial e Tg= plano longitudinal tangencial.....	86
Figura 38. Distribuição e comparação múltipla das médias para a proporção de vasos no tecido da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	89
Figura 39. Distribuição e comparação múltipla das médias para a proporção de parênquima radial no tecido da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	90
Figura 40. Distribuição e comparação múltipla das médias para a proporção de células do parênquima axial no tecido da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	91
Figura 41. Distribuição e comparação múltipla das médias para a contração radial total da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	93

Figura 42. Distribuição e comparação múltipla das médias para a contração volumétrica total da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	94
Figura 43. Distribuição e comparação múltipla das médias para o coeficiente de anisotropia da madeira em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	95
Figura 44. Distribuição e comparação múltipla das médias para a massa específica básica da madeira, em g/cm ³ , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	96
Figura 45. Distribuição e comparação múltipla das médias para a solubilidade em água quente, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	98
Figura 46. Distribuição e comparação múltipla das médias para a solubilidade da madeira em água fria, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	99
Figura 47. Distribuição e comparação múltipla das médias para o teor de extrativos totais da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	101
Figura 48. Distribuição e comparação múltipla das médias para o teor de lignina insolúvel da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	102
Figura 49. Esquema ilustrativo das diferenças entre os avanços por dente (f_z), sendo: a) a qualidade da usinagem ideal desejada; b) a qualidade observada após a usinagem, f_{z1} = calculado por dente; f_n = avanço por rotação; f_{z3} = medido diretamente no corpo-de-prova; e f_{znv} = não visível pela medição.....	105

Figura 50. Distribuição e comparação múltipla das médias das notas atribuídas para a operação de moldura axial “parada”, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	110
Figura 51. Distribuição e comparação múltipla das médias das notas atribuídas para a operação de moldura no topo, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	112
Figura 52. Distribuição e comparação múltipla das médias das notas atribuídas para a operação de perfilagem axial sinuosa com faca plana, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	113
Figura 53. Distribuição e comparação múltipla das médias das notas atribuídas para a operação de rasgo no canto, executado na furadeira horizontal, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	115
Figura 54. Distribuição e comparação múltipla das médias dos índices de arrancamentos de fibras, em mm, durante a operação de furação para dobradiça, executado na furadeira vertical em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.....	118

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1. Valores médios dos comprimentos, dos diâmetros externos e internos e das espessuras de parede das fibras do <i>Eucalyptus grandis</i> em diferentes idades.....	08
Quadro 2. Valores mínimos, médios e máximos dos comprimentos, dos diâmetros externos e internos e das espessuras de parede das fibras do <i>Eucalyptus grandis</i> , aos dez anos de idade.....	09
Quadro 3. Valores mínimos, médios e máximos para as principais características anatômicas do <i>Eucalyptus grandis</i> Hill. Ex Maiden.....	10
Quadro 4. Valores médios para as principais propriedades anatômicas da madeira em clones do <i>Eucalyptus</i> , em função da região medula-casca.....	11
Quadro 5. Valores médios da distribuição percentual do tecido do lenho por diferentes tipos de células, para algumas espécies de coníferas e folhosas.....	12
Quadro 6. Valores médios da massa específica básica, em g/cm ³ , nos sentidos longitudinal e radial para o <i>Eucalyptus grandis</i> , aos sete anos de idade.....	14
Quadro 7. Valores mínimos, médios e máximos da massa específica básica do <i>Eucalyptus grandis</i> , aos dez anos de idade.....	14
Quadro 8. Valores médios para as características ligadas à instabilidade dimensional em clones de <i>Eucalyptus</i> , em função da região medula-casca.....	17
Quadro 9. Classificação das principais madeiras com base no coeficiente de anisotropia.....	18
Quadro 10. Valores médios das contrações e da massa específica básica em madeiras de diferentes clones do <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus saligna</i> aos 90 meses de idade.....	19
Quadro 11. Valores médios dos teores de extrativos em diferentes solventes para algumas madeiras do gênero <i>Eucalyptus</i>	22
Quadro 12. Valores médios dos teores de extrativos, de ligninas e de cinzas em madeiras do gênero <i>Eucalyptus</i>	23
Quadro 13. Classificação da qualidade do acabamento para fresas, desempenho e desengrosso, em função dos valores do avanço por dente (f _z).....	28

Quadro 14. Valores indicados para o avanço por dente (f_z) em função dos tipos de materiais a serem seccionados em serras circulares.....	29
Quadro 15. Velocidades tangenciais da serra circular recomendadas para vários materiais.....	31
Quadro 16. Classificação dos desvios de forma em função de sua ordem, exemplos e suas causas geradoras.....	40
Quadro 17. Programa de secagem utilizado para madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex. Maiden.....	49
Quadro 18. Indicação do instrumento de medição, número repetições, por ponto e total dos dados anatômicos para cada árvore, altura e posição.....	53
Quadro 19. Relação das normas utilizadas para as análises químicas.....	56
Quadro 20. Parâmetros utilizados na execução dos testes de usinagem, por operação.....	59
Quadro 21. Características dendrométricas e de interesse ao processamento do material utilizado.....	70
Quadro 22. Diferenças médias entre as principais características anatômicas para as regiões central, intermediária e externa e valores totais da variação medula-casca.....	73
Quadro 23. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as características relacionadas às dimensões das fibras.....	74
Quadro 24. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as características relacionadas aos aspectos dos vasos.....	80
Quadro 25. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as características relacionadas ao parênquima radial (raios).....	83
Quadro 26. Valores médios e coeficientes de variação (%) para o ângulo da grã.....	85
Quadro 27. Valores médios e coeficientes de variação (%) para a composição do tecido da madeira pelos seus principais tipos de células.....	88
Quadro 28. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as propriedades físicas da madeira.....	92
Quadro 29. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as propriedades químicas de solubilidades da madeira.....	97

Quadro 30. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as propriedades químicas de percentuais de extrativos totais, de lignina insolúvel e de cinzas da madeira.....	100
Quadro 31. Valores médios calculados e coeficiente de variação para os parâmetros avanços por dente (f_z) e velocidade de avanço (V_f), nas diferentes operações de usinagem.....	104
Quadro 32. Diferença entre os valores médios calculados e medidos, para o avanço por dente (f_z), por operação de usinagem.....	105
Quadro 33. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de desempenho.....	107
Quadro 34. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de desengrosso.....	108
Quadro 35. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de moldura axial “parada”.....	109
Quadro 36. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de moldura no topo.....	111
Quadro 37. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de perfilagem axial com faca plana.....	113
Quadro 38. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de rasgo na furadeira horizontal.....	114
Quadro 39. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de fresagem axial e transversal.....	115
Quadro 40. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de furação para cavilha.....	116
Quadro 41. Valores médios (mm) e coeficientes de variação (%) para a operação de furação para dobradiça.....	117
Quadro 42. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a aderência do verniz na intersecção e ao longo das incisões cruzadas.....	119
Quadro 43. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características das fibras.....	121
Quadro 44. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características dos vasos.....	125

Quadro 45. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características do parênquima radial.....	127
Quadro 46. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com o ângulo da grã.....	128
Quadro 47. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com os percentuais de composição do tecidos por tipo de células.....	129
Quadro 48. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as propriedades físicas.....	132
Quadro 49. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as propriedades químicas.....	135

RESUMO

A atual situação da indústria madeireira e principalmente a discriminação ao uso da madeira do eucalipto sob a forma sólida, está baseado na falta de conhecimentos aprofundados sobre o processo de como trabalhar corretamente esse material. É preciso conhecer a estrutura da madeira e os parâmetros de usinagem para entender suas relações, que proporcionam os bons resultados tanto em qualidade quanto em rendimento. Frente a essa abordagem, o presente trabalho visou coletar as variações no sentido medula-casca das operações de usinagem, a aderência do verniz e as propriedades anatômicas, físicas e químicas. A madeira utilizada foi de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden proveniente de plantio comercial da Klabin fabricante de papel e celulose S.A., com 24 anos de idade. Os dados foram avaliados separadamente através das análises de variância e testes de médias. Após, executou-se as correlações de Pearson entre as operações de usinagem e as aderências com as outras propriedades estudadas. Foram encontrados seis diferentes modelos de variação da medula para a casca. Para as operações de usinagem, pôde-se concluir que as atuais condições de corte foram consideradas insuficientes para apresentar melhores qualidades das superfícies, podendo frisar as baixíssimas velocidades de corte, que geraram pré-clivagem. Contudo, em termos de qualidade, o *Eucalyptus grandis* apresentou resultados satisfatórios, mas inferiores ao mogno e imbuia. A utilização de operações como a moldura no topo (corte 90°-90°), moldura axial “parada” (corte 90°-0°) e perfilagem axial sinuosa com faca plana (corte 90°-0°, contra as fibras) permitem, realmente, apreciar a usinabilidade da madeira, pois a madeira é usinada sob drásticas condições, podendo mostrar seu verdadeiro potencial.

ABSTRACT

The present wood industry situation and mainly the discrimination to the use of eucalypt as solid wood is based on the lack of deep understanding on the process of how to work correctly this material. It is necessary to know the wood structure and woodworkability parameter to understand their relationships, that propiciate good results in quality and yields. Thus this present research aimed to identify the variation from pith to bark of the wood machining processes, the adherence of varnish and the anatomic, physics and chemical properties. It was used wood from *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden coming from “Klabin fabricadora de papel e celulose S.A.” commercial plantations 24 years old. The data were evaluated separately through analysis of variance and tests of comparison of means. After this it was done correlation of Pearson among wood machining processes and adherences with the others studied properties. They were found six different variation models from the pith to bark. For the woodworkability it was concluded that the present cut conditions were considered insufficient to present better surface qualities, pointing out very low cutting velocities, which generated precleavage. However, in terms of quality, *Eucalyptus grandis* presented satisfactory results, but inferior to mahogany and Brazilian Walnut (*Ocotea porosa* (Nees ex.Mart.) Barroso). The utilization of operations, such as mouding in top (cut 90°-90°), axial mouding “stoped” (cut 90°-0°) and axial edgecutting with plane knife (cut 90°-0° against the fibers) really allowed to appreciate the woodworkability, since the wood is processed under drastic condictiones, showing its thure potential.

RESUMÉ

La situation actuelle de l'industrie du Bois et principalement la discrimination de l'utilisation du bois d'Eucaliptus sous la forme du bois massif, est basée sur le manque de connaissance approfondie de la manière de comment se travaille correctement ce matériau. Il est nécessaire de connaître la structure du bois et les paramètres d'usinage pour comprendre ses relations, qui engendrent les bons résultats aussi bien envers la qualité qu'en terme de rendement. Face à ce constat, le présent travail a permis de réunir les variations dans le sens moelle-écorce des opérations d'usinage, de l'adhérence de vernis et des propriétés anatomiques, physiques et chimiques. L'essence utilisée est l'*Eucaliptus grandis* Hill ex. Maiden provenant de plantation commerciale de la société « Klabin fabricadora de papel e celulose S.A. » de 24 ans. Les données ont été évaluées séparément à l'aide des analyses de la variance et tests de moyenne. Ensuite, les corrélations de Pearson ont été exécutées entre les opérations d'usinage et d'adhérence de vernis vis-à-vis des propriétés étudiées. Six modèles de variation de la moelle à l'écorce ont été observés. Pour les opérations d'usinage, nous pouvons conclure que les conditions de coupe ont été considérées insuffisantes pour obtenir les meilleurs états de surface, de par les très basses vitesses de coupe utilisées occasionnant le pré-clivage. Cependant, l'*Eucaliptus grandis* présente des résultats satisfaisants, mais inférieurs à l'acajou (*Swietenia macrophylla* King.) ou à l'imbuia (*Ocotea porosa* (Nees ex.Mart.) Barroso). L'utilisation des opérations telles que le profilage en bout (coupe 90°-90°), le profilage arrêté (coupe 90°-0°) et le profilage axial sinueux à l'aide de couteaux droits (coupe 90°-0° à contre fil) permettent réellement d'apprécier l'usinabilité du bois, puisqu'il est usiné sous conditions drastiques, montrant son véritable potentiel.

ZUSAMMENFASSUNG

Die momentane Situation der auf Eukalyptus basierenden Holzindustrie und insbesondere die Abneigung dieses Branchenzweiges gegenüber einer Schnittholzproduktion, ist begründet in den fehlenden Kenntnissen über die Materialeigenschaften dieses Holzes und wie es zu bearbeiten ist. Es ist unumgänglich die Zusammenhänge zwischen der Holzstruktur und den wichtigsten Parametern der Holzbearbeitung besser zu verstehen um gute Ergebnisse sowohl in qualitativer Hinsicht als auch bei der Ausbeute zu erzielen. Vor diesem Hintergrund ist es Ziel dieser Arbeit, die auftretende Variation der Holz- und Bearbeitungseigenschaften in radialer Richtung (Mark – Rinde) zu erfassen, die Aufnahmefähigkeit gegenüber Lacken zu analysieren sowie die anatomischen, physischen und chemischen Eigenschaften genauer zu untersuchen. Das in dieser Arbeit verwendete Probematerial stammt aus einer Pflanzung der Firma Klabin Papier- und Cellulose S.A. im Bundesstaat Paraná (Brasilien), bestehend aus *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, die im Alter von 24 Jahren geerntet wurde. Die Daten wurden mit Hilfe der Varianzanalyse und unterschiedlichen Mittelwerttests statistisch untersucht. Für die Untersuchung der Beziehung zwischen unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren, der Aufnahmefähigkeit des Holzes gegenüber schützenden Substanzen und den Holzeigenschaften, wurde auf die Korrelationsanalyse nach Pearson zurückgegriffen. Es konnten 6 unterschiedliche Modelle ausgeschieden werden die in der Lage sind, die auftretenden Variationen in radialer Richtung zu beschreiben. Für die momentan in Brasilien angewandten Bearbeitungsverfahren von Eukalyptusholz kann zusammenfassend gesagt werden, dass diese nicht ausreichend sind um höherwertige Oberflächenqualitäten zu erzielen, da die relativ langsamen Schnittgeschwindigkeiten der Fräsmesser Vorspaltungen verursachen, wodurch die Oberfläche stark aufgeraut wird. Dennoch zeigte das Holz von *Eucalyptus grandis* zufriedenstellende Qualitätseigenschaften, die im Vergleich mit einheimischen Laubholzarten wie Amerikanisches Mahagony (*Swietenia macrophylla* King.) und Imbuya (Brazilian Walnut, *Ocotea porosa* (Nees ex.Mart.) Barroso). schlechter sind. Die Anwendung von

Bearbeitungsmethoden wie Fräsen an den Stirnseiten (Anschnittwinkel zur Faser 90° - 90°), auslaufendes Fräsen an den Längsseiten (Anschnittwinkel 90° - 0°) sowie Fräsen in axialer Richtung mit flachen Messern (Anschnittwinkel 90° - 0° , entgegen dem Faserverlauf) ermöglichen in qualitativer Hinsicht eine durchaus zufriedenstellende Bearbeitbarkeit des Eukalyptusholzes, da das Material unter diesen extremen Bedingungen sein tatsächliches Potenzial unter Beweis stellen kann.

RESUMEN

La actual situación de la industria maderera y principalmente la discriminación para el uso de madera sólida de eucalipto, es debido a la falta de conocimientos profundos sobre el proceso de como trabajar correctamente ese material. Es necesario conocer la estructura de la madera y los parámetros de trabajabilidad para entender sus relaciones, que proporcionen buenos resultados, tanto en calidad como en rendimiento. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las variaciones en el sentido médula-corteza de las propiedades de trabajabilidad, adherencia de barniz, y de las propiedades anatómicas, físicas, y químicas. La madera utilizada fue *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, proveniente de plantaciones comerciales de 24 años de edad, de la empresa Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A.,. Los datos fueron analizados separadamente a través de las análisis de variancia y tests de medias. Después fueron realizadas correlaciones de Pearson entre las operaciones de trabajabilidad y las relaciones con las otras propiedades estudiadas. Fueron encontrados 6 diferentes modelos de variación desde la médula hacia la corteza. Para las operaciones de trabajabilidad, podemos concluir que las actuales condiciones de corte fueron consideradas insuficientes para presentar mejores calidades de superficies, que las bajas velocidades de corte, generan un pre-clivaje. En términos de calidad, el *Eucalyptus grandis* tuvo resultados satisfactorios, siendo inferiores al “mogno” (*Swietenia macrophylla* King.) e “imbuia” (*Ocotea porosa* (Nees ex.Mart.) Barroso). La utilización de operaciones como el moldurado en la cara transversal (corte 90°-90°), moldurado axial “parada” ? (corte 90°-0°) y perfilado axial sinuoso, con cuchilla plana (corte 90°-0°, contra las fibras), permiten, realmente, apreciar a trabajabilidad de la madera, pues es procesada bajo las condiciones más severas, pudiendo mostrar su verdadero potencial.

1. INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de processamento da madeira, de maneira geral, apresenta baixo poder de competição no âmbito mundial. Tal perfil é, em parte, devido à falta de conhecimentos sobre a matéria-prima empregada e ao baixo nível tecnológico do maquinário e das ferramentas de corte utilizadas na linha de produção. Para o caso específico da indústria moveleira nota-se um agravamento pela falta de design próprio e de apoio governamental.

A madeira é um recurso natural renovável e possui vantagens competitivas em relação a outros materiais utilizados na indústria moveleira e de construção civil. Contudo, ela necessita ser bem trabalhada para que os resultados obtidos não transformem essas vantagens em autênticas desvantagens. É importante entender que para bem trabalhar a madeira, necessita-se conhecer suas propriedades, os parâmetros de usinagem a serem utilizados e suas interações.

Nos encontros técnicos é comum a discussão sobre o total de área plantada com eucalipto e pinus destinados ao uso como madeira serrada. Deve-se salientar, entretanto, que mais importante que aumentar a área plantada, cabe aos profissionais da tecnologia da madeira melhorar os rendimentos nos aproveitamentos da madeira produzida nos atuais plantios existentes. Tal melhoria de processos depende também do conhecimento das propriedades da madeira e suas relações com o produto desejado. Por exemplo, o estudo das propriedades da madeira, associado ao estudo dos parâmetros de usinagem estabelecidos, pode fornecer subsídios para predizer as facilidades e dificuldades da sua trabalhabilidade. Dessa forma será possível reduzir e em certos casos até eliminar os defeitos obtidos, isto é, melhorar a qualidade da superfície usinada e tornar peças, anteriormente recusadas em peças de qualidade aceitável ao processo produtivo.

Outro ponto a ser considerado é com relação às variações das propriedades da madeira no sentido da medula para a casca, as quais podem se apresentar em maior ou menor magnitudes, dependendo da madeira e idade. Estudos de melhoramento genético têm sido desenvolvidos com intuito de reduzir essa variabilidade e aumentar o aproveitamento industrial da madeira.

Contudo, o melhor aproveitamento da madeira poderá ser obtido, de forma otimizada, através de conhecimento do padrão de comportamento radial existente e com a sua interação com as diferentes operações de usinagem. Isto permitirá a estratificação de porções nas árvores para fins específicos, onde porções de tábuas ou outras peças, dependendo de sua região de localização na árvore, poderão ser destinadas para formar componentes específicos dos móveis em função das operações de usinagem necessárias para confecção dos mesmos.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho objetivou estudar o comportamento de diferentes operações de usinagem e da aderência do verniz e caracterizar a variação radial das propriedades anatômicas, físicas, químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, visando sua utilização industrial.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a madeira, no sentido medula-casca, em relação às propriedades anatômicas ligadas aos aspectos das fibras, dos vasos, dos parênquimas radial e axial e do percentual, por tipo de célula, de formação do tecido lenhoso.
- Caracterizar a madeira, no sentido medula-casca, em relação à massa específica básica e as retratibilidades radial, tangencial e volumétrica.
- Caracterizar a madeira, no sentido medula-casca, em relação às propriedades químicas, sendo analisadas as solubilidades em água

quente, em água fria, em álcool-tolueno e em NaOH (1%) e os percentuais de extrativos totais, de lignina insolúvel e de cinzas.

- Verificar o comportamento da madeira, no sentido medula-casca, frente às operações de usinagem para o desempenho, desengrosso, moldura axial “parada”, moldura no topo, perfilagem axial sinuosa com faca plana, rasgo na furadeira horizontal, fresagem axial e transversal, furação para cavilha e furação para dobradiça.
- Verificar o comportamento da madeira, no sentido medula-casca, frente à qualidade da aderência do verniz.
- Analisar as associações existentes entre as operações de usinagem e de aderências do verniz com as propriedades anatômicas, físicas ou químicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Já fora intensamente informado que, no Brasil, a madeira do eucalipto foi introduzida para ornamentação e posteriormente utilizada para produção de pasta celulósica e energia devido às características de adaptabilidade, de rápido crescimento e variabilidade entre espécies. Segundo Cruz (2000), apesar do grande incremento verificado nas árvores de eucalipto, a madeira não interessava à indústria moveleira, pois essa apresentava grandes defeitos. Neste sentido, existem dois caminhos a seguir. O primeiro é minimizar, através dos programas de melhoramento genético, o efeito das características indesejáveis que induzem o aparecimento dos defeitos, visando a seleção de matéria-prima para formação de povoamentos mais homogêneos e com defeitos reduzidos. O segundo é conhecer e aprender a trabalhar as características da matéria-prima existente. O objetivo deste, é aumentar o aproveitamento e melhorar a qualidade de seus produtos. Este último procedimento é de forma mais abrangente, pois avalia a matéria-prima e o processo de sua utilização. É certa que a união desses dois caminhos seja a forma mais consensual para obter a otimização da utilização. Este fato pode ser confirmado, por Panshin e De Zeeuw (1980), que afirmaram que é fundamental o uso racional da madeira, recurso tão utilizado desde o início da humanidade até os dias de hoje. Assim, para a sua melhor utilização é essencial o conhecimento de suas propriedades que auxiliarão na escolha correta das espécies mais apropriadas para determinados usos.

Segundo Moura (2000) a qualidade de uma madeira está diretamente relacionada às propriedades anatômicas, físicas e químicas. A combinação destas propriedades irá definir sua melhor forma de utilização. Para avaliar sua qualidade, é importante definir o uso, identificar os fatores que afetam essa madeira, quantificá-los, além de avaliar seus efeitos na qualidade do material. Assim sendo, para Kninmonth e Whitehouse (1991), a qualidade deixa de ser um aspecto pontual e passa a ser uma relação ampla de todas as propriedades. Contudo, é importante verificar a variação destas propriedades, através de medições no âmbito macro e microscópico. Além disto, é

necessário também conhecer variações de forma, de dimensão e os aspectos externos das toras, visando determinar os rendimentos em conversão.

Para que a madeira de eucalipto seja bem aceita pelos industriais e consumidores, em substituição às atuais madeiras tradicionais é necessário ampliar as investigações em relação à sua aptidão. Deve-se intensificar os estudos em silvicultura, nas caracterizações tecnológicas das várias espécies e nas técnicas de processamento industrial (Freitas e Ponce, 1979).

Em especial ao gênero *Eucalyptus*, devido à diversidade de espécies e de procedências, existe uma grande variação nas propriedades dentro e entre materiais. Neste caso, para o *Eucalyptus grandis*, Alfonso (1987) afirma que o alburno e cerne são distintos quanto a cor; alburno bege levemente rosado, estreito, variando de 2 a 2,5 cm de espessura; cerne róseo-claro. A madeira possui pouco brilho; grã direita a inclinada; textura fina a média; macia ao corte; cheiro e gosto indistintos.

2.1. PROPRIEDADES ANATÔMICAS

Segundo Burger e Richter (1991), a anatomia (do grego anatomé: incisão, dissecação, com o sufixo ia) da madeira pode ser definida pelo estudo dos diversos tipos de células que constituem o lenho ou xilema secundário, suas funções, organização e peculiaridades estruturais. Este estudo objetiva, entre outros, conhecer a madeira visando um emprego correto, predizer utilizações adequadas de acordo com as características anatômicas da madeira e prever e compreender o comportamento da madeira no que diz respeito à sua utilização. Essas afirmativas são ratificadas por Oliveira (1997), o qual menciona que o objetivo do estudo das propriedades anatômicas é obter informações para fins tecnológicos, através da caracterização do xilema secundário, permitindo ao tecnologista da madeira entender o seu comportamento, quanto às diversas situações de utilização.

A madeira, de modo geral, apresenta variações nos seus componentes anatômicos tanto na direção axial (base-topo) quanto na radial (medula-casca). Este fato é intensamente observado em madeiras do eucalipto. Essas

variações na anatomia têm como consequência, uma variação nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, sendo de grande importância no que diz respeito à sua melhor utilização (Cruz, 2000). A variação existente no sentido axial se apresenta em menores intensidades que aquelas encontradas no sentido medula-casca (Downes et al., 1997).

Numa descrição aprofundada, Alfonso (1987) define as seguintes características anatômicas do lenho do *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden, com idade de 8 anos, procedente de Mogi-Guaçu/SP:

- Parênquima axial: indistinto mesmo sob lente; pouco abundante; paratraqueal vasicêntrico, com 2 a 4 célula de largura, formando confluências curtas e oblíquas; seriado com 2 a 9 células por série.

- Poros/vasos: notados a olho nu; seção ovalada a circular; distribuição difusa; exclusivamente solitários; disposição diagonal; pouco numerosos (18%), numerosos (64%) e muito numerosos (18%), com variação de 11-15-21 poros/mm²; pequenos (11%) e médios (89%), com variação de 88-128-164 µm; conteúdo: obstruídos por tilas. Elementos vasculares curtos (16%) a muito longos (25%), predominando os longos (59%), com variação de 374-670-984 µm; apêndices ausentes e presentes em uma ou ambas extremidades, curtos e longos; placa de perfuração simples; pontuações intervasculares pequenas (56%) e médias (44%), com variação de 5-7-9 µm, alternas, circulares a ovaladas, de abertura horizontal a oblíqua, lenticular e guarneçada; pontuações raio-vasculares pequenas (5-6-8 µm), arredondadas, simples, eventualmente com aréolas incompletas.

- Raios: visíveis apenas sob lente; espelhado dos raios pouco contrastado; homogêneos; unisseriados (98%), eventualmente localmente bisseriados (2%); extremamente finos (78%) e muitos finos (22%), com variação de 8-13-22 µm; extremamente baixo (120-290-450 µm), com 4-13-23 células de altura; pouco numerosos (20%), numerosos (57%) e muito numerosos (23%), com variação de 5-9-14 raios/mm; conteúdo: substâncias taníferas.

- Fibrotraqueídeos: extremamente curtos (4%), muito curtos (46%) a curtos (50%), com variação de 670-1040-1460 µm; estreitos (89%) e médios

(11%), com variação de 14-19-25 μm ; lume com 6-10-15 μm de largura; paredes delgadas (64%), espessas (30%) e muito espessas (6%), com variação de 2-5-7 μm de espessura.

- Traqueídeos: vasicêntrico presentes.
- Camadas de crescimento: demarcadas por zonas fibrosas, caracterizadas por um maior espessamento das paredes dos fibrotraqueídeos.

Segundo Esau (1993) e Raven et al. (1992), as divisões transversais na região periférica e na medula constituem as bases dos primeiros estágios de alongamento das células e mais tarde predomina o aumento do número destas células. Estas divisões são afetadas pela taxa de hormônios da árvore a qual está ligada a sazonalidade, às condições ambientais e a fatores genéticos. Neste sentido condições adversas de crescimento podem aumentar a proporção relativa de determinado lenho em diferentes espécies. Nas estações primavera e verão, a taxa hormonal aumenta, induzindo as células cambiais a rápidas divisões das células, apresentando tempo reduzido para o incremento em comprimento da fibra antes da próxima divisão. Então, pode-se observar menores valores para esta dimensão nas referidas estações.

Shimoyama (1990), em trabalhos com o *Eucalyptus grandis*, com idade de 7 anos, procedente do município de Santa Rosa do Viterbo/SP (Chamflora S.A.), menciona que a variação radial do comprimento, da largura ou diâmetro externo e da espessura de parede das fibras tende a uma forma crescente da posição interna (10 a 45% do raio) para a externa (55 a 90% do raio). Já para o diâmetro interno, de forma geral, observou-se variação decrescente entre as regiões internas e externas. Para a mesma autora, uma das principais características do gênero *Eucalyptus* é possuir pequeno comprimento das fibras, cujo valor médio, para as espécies de seu estudo, encontra-se próximo a 1000 μm . Quanto ao diâmetro do lume, explica-se que os altos valores encontrados devem colaborar para redução na sua massa específica básica. Já para a fração parede, os valores encontrados, foram de 41 e 45% para as regiões interna e externa, respectivamente.

Tomazello Filho (1985b) apresentando a variação média das dimensões e frequência dos vasos em duas espécies do gênero *Eucalyptus* no sentido medula-casca concluiu que ocorre aumento no diâmetro tangencial dos vasos, enquanto que a frequência diminuiu.

Barrichelo e Brito (1976) afirmaram que as fibras do eucalipto têm seu comprimento variando de 750 a 1300 μm , mostrando-se em média próximo de 1000 μm . O diâmetro das fibras possui grande variação e está geralmente entre 15 a 20 μm . Os vasos do eucalipto são elementos estruturais bastante variados quanto à frequência, forma e distribuição. O diâmetro dos vasos varia de 50 a 300 μm , enquanto sua frequência está entre 5 a 100 vasos por milímetro quadrado. Os percentuais de fibras, vasos e parênquima são de 65, 17 e 18%, respectivamente, no tecido lenhoso. No Quadro 1 encontram-se os valores dos comprimentos, dos diâmetros externos e internos e das espessuras de parede das fibras do *Eucalyptus grandis* em diferentes idades.

Quadro 1. Valores médios dos comprimentos, dos diâmetros externos e internos e das espessuras de parede das fibras do *Eucalyptus grandis* em diferentes idades.

Idade (anos)	Comprimento das fibras (μm)	Diâmetro das fibras		Espessura da parede (μm)
		Externo (μm)	Interno (μm)	
5	1030	20,5	10,3	5,1
7	1060	18,6	12,2	3,2
16	840 a 1280	17,0 a 17,2	7,8 a 9,8	3,9 a 5,0

FONTE: Adaptação de Barrichelo e Brito (1976).

No Quadro 2 encontram-se os resultados obtidos por Tomazello Filho (1985b) para as variações radiais medidas em cinco diferentes posições, para as características das fibras do *Eucalyptus grandis* aos dez anos de idade. O autor afirma que a variação existente para o comprimento das fibras está distribuída da seguinte forma: 2,6% das fibras possuem comprimento entre 500 a 600 μm ; 90,4% entre 600 a 1400 μm e 7,0% entre 1400 a 1700 μm .

Quadro 2. Valores mínimos, médios e máximos dos comprimentos, dos diâmetros externos e internos e das espessuras de parede das fibras do *Eucalyptus grandis*, aos dez anos de idade.

Característica da fibra (µm)	Posição radial (medula-casca)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Comprimento					
Mínimo	460	630	720	890	1040
Médio	680	850	1070	1200	1320
Máximo	930	1090	1410	1520	1800
Diâmetro externo					
Mínimo	12,0	12,0	14,0	17,0	17,0
Médio	19,3	18,6	21,1	23,0	24,1
Máximo	26,0	26,0	28,0	33,5	31,0
Diâmetro interno					
Mínimo	5,5	5,5	6,5	7,0	6,0
Médio	10,0	9,5	10,8	12,2	12,0
Máximo	16,0	16,0	18,0	23,5	19,0
Espessura de parede					
Mínimo	3,2	3,2	3,7	5,0	5,5
Médio	4,6	4,5	5,1	5,4	6,0
Máximo	5,0	5,0	5,5	6,0	6,5

FONTE: Adaptação de Tomazello Filho (1985b)

No Quadro 3 encontra-se o resumo das principais características anatômicas do *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden. Essas observações foram extraídas de Oliveira (1997) e Alfonso (1987). O primeiro pesquisador utilizou árvores com idade de 17 anos, provenientes de plantios na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi/SP. As árvores foram amostradas na região do cerne externo. A segunda pesquisadora utilizou árvores com idade de oito anos, procedente de Mogi-Guaçu/SP, amostrando a região do cerne, fronteira com o alburno. Ambos executaram suas observações em cinco árvores a 1,30 m de altura.

Cruz (2000), trabalhando com sete clones híbridos naturais do gênero *Eucalyptus* com idades de 5,5 e 10,5 anos, procedentes da região de Vazante/MG, afirma que as dimensões das fibras e vasos aumentam à medida que se afastam da medula. Isso pode ser explicado devido o rápido crescimento do gênero, pois no início o crescimento é acelerado e as células da madeira se multiplicam antes de atingirem o tamanho genético

característico da espécie. Com as dimensões reduzidas as diferenciações acontecem e células como fibras e vasos são formadas. A madeira formada nesse período de rápido crescimento é conhecida como madeira juvenil, que é caracterizada pela variação na dimensão dos componentes anatômicos, principalmente vasos e fibras no sentido medula-casca da árvore. A cada camada de crescimento da árvore, as células vão aumentando seu tamanho até estabilizarem-se no lenho. Quanto aos vasos, o mesmo autor informa que observou um aumento do número por milímetro quadrado na região mais próxima da medula, reduzindo à medida que se aproxima da casca. Por outro lado, um menor diâmetro desses elementos é observado próximo a medula, aumentando em direção a casca. Confrontando-se essas características pode-se afirmar que existe uma tendência de equilíbrio da área dos vasos, que representa grande parte dos espaços vazios da madeira, em relação às posições medula-casca.

Quadro 3. Valores mínimos, médios e máximos para as principais características anatômicas do *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden.

Características anatômicas	Mínimos		Médios		Máximos	
	*	**	*	**	*	**
• Fibras						
Comprimento (µm)	500	670	970	1040	1630	1460
Diâmetro externo (µm)	11	14	18	19	31	25
Diâmetro interno (µm)	6	6	12	10	20	15
Espessura de parede (µm)	2	2	3	5	6	7
• Vasos						
Diâmetro tangencial (µm)	59	88	127	128	216	164
Frequência (nº/mm ²)	7	11	13	15	24	21
• Parênquima radial						
Frequência (nº/mm)	10	5	13	9	16	14
Número de células na altura (nº)	6	4	11	13	18	23
Dimensão da altura (µm)	111	120	220	290	310	450
Número de células na largura (nº)	1	1	1	1	1	1
Dimensão da largura (µm)	6	8	12	13	22	22

FONTE: Adaptação de Oliveira, 1997 (*) e de Alfonso, 1987 (**).

No Quadro 4, encontram resultados médios para as principais propriedades anatômicas da madeira em clones de *Eucalyptus*, em função da região medula-casca, bem como o percentual de variação radial destas características. Estas características se tornam importantes para a produção de madeira serrada, pois neste caso necessita de maior homogeneidade da matéria-prima.

Quadro 4. Valores médios para as principais propriedades anatômicas da madeira em clones do *Eucalyptus*, em função da região medula-casca.

Propriedades anatômicas	Posições radiais			Média geral	Variação radial (%)
	Central	Intermediária	Externa		
• Fibras					
Comprimento (µm)	910	1000	1080	1000	18,7
Largura das fibras (µm)	17,1	17,8	17,8	17,6	4,0
Espessura de parede (µm)	4,3	4,3	4,6	4,4	6,5
• Vasos					
Diâmetro tangencial (µm)	108	127	136	124	25,9
Frequência (nº/mm²)	17	13	12	14	17,0

FONTE: Adaptação de Cruz (2000).

Ainda com relação à variação radial das dimensões dos componentes anatômicos, Ceccatini (1996) em seus trabalhos com espécies nativas, afirma que a zona de estabilização dos comprimentos das fibras é marcada pela transição da madeira juvenil para a adulta, isto é, a variação das dimensões possui um caráter uniforme crescente, para a região de madeira juvenil e que tende a se estabilizar na madeira adulta. Neste sentido, Cruz (2000) afirma que para fins de madeira serrada é almejado material que possuem características mais homogêneas, podendo concluir que se deve evitar o uso de madeira juvenil, pois esta porção possui padrões de variações mais evidentes e freqüentes.

No Quadro 5 encontra-se a distribuição percentual do tecido do lenho de algumas espécies de coníferas e de folhosas, por diferentes tipos de células que compõem a madeira.

Quadro 5. Valores médios da distribuição percentual do tecido do lenho por diferentes tipos de células para algumas espécies de coníferas e folhosas.

Espécie	Percentual de tecidos por tipo de células			
	Traqueídeos ¹ ou fibras ² (%)	Canais de resina ¹ ou vasos ² (%)	Parênquimas	
			Radial (%)	Axial (%)
• Coníferas				
<i>Pinus strobus</i>	93,3	0,9	5,3	-
<i>Pinus pinaster</i>	93,3	0,6	6,2	-
<i>Picea abies</i>	94,1	0,8	6,0	-
<i>Juniperus excelsa</i>	93,5	-	8,3	0,3
• Folhosas				
<i>Acer saccharium</i>	66,6	21,4	11,9	0,1
<i>Bétula papyrifera</i>	75,7	10,6	11,7	2,0
<i>Populus deltóides</i>	53,1	33,0	13,7	0,2
<i>Quercus rubia</i>	43,5	21,6	21,5	13,5
<i>Ulmus thomasii</i>	55,4	25,4	11,7	7,6

FONTE: Adaptação de Panshin e De Zeeuw (1980), onde 1 e 2 são relativos aos elementos das coníferas e das folhosas, respectivamente.

2.2. PROPRIEDADES FÍSICAS

Segundo Stewart e Polak (1975), a massa específica aparente é uma das propriedades que mais fornece informações sobre as características da madeira e quanto maior sua magnitude, quase sempre maior é a retratibilidade, mais difícil de trabalhar e, na maioria das vezes, aumenta as dificuldades de sua secagem. Nesta mesma linha de pensamento, Zobel e Van Buijtenen, citados por Moura (2000), informam que dentre todas as propriedades que definem a qualidade de uma madeira, a massa específica é a mais amplamente usada, porque é considerada de importância chave na fabricação de produtos florestais, pois representa um reflexo das demais propriedades da madeira. Contudo, a massa específica não deve generalizar todas as variações existentes.

Downes et al. (1997) mencionam que as propriedades físicas e mecânicas da madeira podem ser afetadas pelas dimensões e quantidades das fibras e dos vasos e também pela quantidade de tecido parenquimático. Neste sentido, o aumento do número e dimensões dos vasos poderá causar um

decréscimo na massa específica da madeira, pois os vasos apresentam mais espaços vazios, os quais poderiam estar ocupados pelas fibras. Burger e Richter (1991) alertam para a presença de incrustações e conteúdos como gomo-resinas, cristais, sílica etc., que quando em grande quantidade, também podem aumentar a massa da madeira e conseqüentemente aumentar sua massa específica.

Para Panshin e de Zeeuw (1980), as variações da massa específica são resultados das diferentes espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores, da quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume.

Shimoyama (1990) menciona que a massa específica básica varia em função de fatores genéticos, silviculturais, edafo-climáticos, etc. Os seus resultados médios, obtidos de trinta árvores de *Eucalyptus grandis*, com idade de 7 anos mostram uma variação longitudinal que acompanha um modelo matemático cúbico. Os valores gerais apresentaram-se de forma decrescente da base para o topo, diferindo de outros pesquisadores, mas que pode ser explicada em função de materiais genéticos utilizados. Para a variação entre as regiões presente no intervalo de 10 a 45% e de 55 a 90% do raio, a mesma pesquisadora verificou pequena variação entre essas duas regiões. Contudo, através da análise de variância conjunta com outras espécies de eucalipto, foi possível concluir que houve diferença significativa a 99% de probabilidade, para as espécies, alturas e regiões estudadas. Os maiores valores apresentados para a massa específica básica ocorreram na base da árvore, sendo a única posição a diferir significativamente das demais. O resumo dos seus resultados para as variações longitudinais e radiais encontra-se listados no Quadro 6.

Lima (1999) relata que a massa específica básica em *Eucalyptus* tende a aumentar da medula para a casca. Tendência similar é observada da base da para o topo do tronco. O mesmo autor salienta que a magnitude de variação radial existente nas regiões próximas à base é maior. Comparativamente, as variações verificadas no sentido medula-casca são, em proporções, mais elevadas que aquelas existentes axialmente ao tronco.

Quadro 6. Valores médios da massa específica básica, em g/cm³, nos sentidos longitudinal e radial para o *Eucalyptus grandis*, aos sete anos de idade.

Sentido medula-casca	Sentido longitudinal do tronco					
	Base	DAP	25%	50%	75%	100%
10-45%	0,505	0,476	0,467	0,468	0,457	0,460
55-90%	0,508	0,489	0,477	0,470	0,464	0,459

FONTE: Adaptação de Shimoyama (1990).

10-45% e 55-90% representam as regiões presente nos intervalos de 10 a 45% e de 55 a 90% do raio, respectivamente.

Oliveira (1997) apresenta uma tendência geral de variação da massa específica básica nas madeiras estudadas em seu trabalho. Seus valores são mais baixos na região da medula e, na maioria das vezes, ocorre aumento acentuado até próximo a região do alburno. A partir daí têm-se uma nova queda. A variação radial da massa específica da madeira do *Eucalyptus grandis* foi aquela que se apresentou de forma mais intensa.

A variação crescente da massa específica básica da medula para a casca também foi observada por Tomazello Filho (1985b), nas análises dos *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. Contudo, observou-se um pequeno desvio desta tendência, para o *Eucalyptus grandis*, sendo que a região de 25% do raio apresentou valores médios superiores àqueles encontrados a 50 e 75% do raio (Quadro 7). O mesmo autor afirma que o aumento do valor da massa específica básica da madeira, no sentido medula-casca, tem sido comumente relatado para as duas referidas espécies, em diferentes locais e idades, constituindo-se no modelo básico de variação das espécies.

Quadro 7. Valores mínimos, médios e máximos da massa específica básica do *Eucalyptus grandis*, aos dez anos de idade.

Massa específica básica (g/cm ³)	Posição radial (medula-casca)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Mínimo	0,291	0,365	0,319	0,344	0,384
Médio	0,346	0,401	0,359	0,386	0,434
Máximo	0,369	0,445	0,397	0,449	0,479

FONTE: Adaptação de Tomazello Filho (1985b)

Os dados, acima apresentados (Quadro 7), são corroborados pelos trabalhos de Cruz (2000) que encontrou valores médios de 0,457; 0,484 e 0,535 g/cm³ para as massas específicas, gerando uma variação radial de +11,42% para sete diferentes clones do gênero *Eucalyptus*, a 0,2 m do solo. Contudo, esse mesmo autor afirma que determinados clones podem apresentar massa específica básica maior que outros em certa posição radial e comportamento inverso em outra posição ao longo do raio.

Fazendo uma comparação entre as variações radiais e longitudinais, Cruz (2000) informa que para a utilização em serrarias, para que se possa ter peças mais homogêneas no momento da secagem, torna-se mais importante a seleção das peças no sentido medula-casca da tora do que entre alturas diferentes na árvore. Tal afirmação foi embasada na variação longitudinal encontrada entre a região de 0,2 e 7,5 m de altura, que foi de +5,28%.

Toda a variação existente para a massa específica, associada à alta herdabilidade, à sua baixa interação entre genótipos e ambientes e também pelos seus efeitos sobre a produção e qualidade da madeira, torna essa propriedade ideal para ser manipulada geneticamente (Silveira, 1999). Contudo, Xavier (2001) esclarece que as informações genéticas específicas não viabilizam a seleção de clones por região de amostragem, pois a madeira é constituída por diferentes tipos e proporções de componentes anatômicos, distribuídos nas regiões periféricas, intermediária e central da árvore, conferindo características próprias a cada uma destas. Assim, não é possível selecionar o melhor clone somente para a região periférica ou somente para a região central da árvore. Ao selecionar o melhor clone em uma determinada região, obviamente as outras duas estarão incluídas. Dessa forma, a seleção da característica deve ser realizada com base nas médias das regiões para a qual os ganhos são maiores. Este procedimento foi válido para as propriedades físicas estudadas pela autora.

Uma outra importante propriedade física da madeira pode ser obtida a partir das contrações transversais. Ela representa a relação entre a contração tangencial e a radial. Esse índice fornece uma idéia do comportamento das madeiras em relação à secagem, indicando uma maior ou menor propensão das peças fendilharem. Tais valores variam próximo à 1,3 para madeiras muito

estáveis, até mais de 3,0 para espécies extremamente instáveis dimensionalmente, como no caso das madeiras de muitas espécies do gênero *Eucalyptus* (Oliveira, 1997). As características de retração da madeira são bastante diferentes de espécie para espécie. Dependendo do modo de condução da secagem e do próprio comportamento da madeira frequentemente leva a alterações da forma e à formação de fendas e empenos. Cabe salientar a diferença existente entre a retração e o inchamento, que segundo Galvão e Jankovsky (1985) tratam-se de variações dimensionais em função da variação na umidade, mas por serem calculadas através dos percentuais de variação em relação à dimensão inicial fornecem valores diferentes. Assim sendo, a retração dimensional é determinada em relação às dimensões saturadas ou verdes e o inchamento, através da relação com as dimensões secas.

Com relação à influência das contrações ou dos inchamentos com a massa específica, Tsoumis (1991) menciona que existe uma relação direta entre essas propriedades físicas. Este fato é devido a maior presença da massa lenhosa, representada pelas paredes celulares, que podem interagir com maiores volumes de água.

Conforme anteriormente exposto, o não conhecimento das propriedades da madeira pode levar a transformar vantagens em desvantagens durante a sua utilização. Neste contexto, Moura (2000) afirma que algumas características da madeira limitam sua utilização e podem, dependendo da solicitação, desqualifica-la, causando, em alguns casos, a sua substituição por outros materiais. Entre essas propriedades, destaca-se a sua variação dimensional devido às alterações de umidade. Em seu trabalho com clones do gênero *Eucalyptus*, a autora concluiu que houve diferenças significativas entre os diferentes clones pesquisados para as contrações radiais, tangenciais e volumétricas, indicando a possibilidade de seleção dos melhores genótipos, para redução da instabilidade dimensional da madeira. Comparativamente, foram encontrados menores valores que aqueles presentes em algumas espécies tradicionais como o cedro, pinheiro brasileiro, peroba rosa e sucupira.

As retrações da madeira variam em relação à posição da árvore. De forma geral, ela é maior na madeira juvenil, ou seja, mais próxima à medula,

decrecendo rapidamente da medula para a casca, estando essa mudança relacionada com a rápida redução do ângulo microfibrilar na parede celular, com o aumento do comprimento das células e do teor de celulose (Panshin e De Zeeuw, 1980).

No Quadro 8, encontram-se os resultados médios das características ligadas a instabilidade dimensional da madeira, de sete diferentes clones do gênero *Eucalyptus* (Cruz, 2000). Os resultados definidos como parcial e total representam as respectivas condições de 12 e de 0% de umidade, em amostras retiradas a 0,2 m do solo.

Quadro 8. Valores médios para as características ligadas à instabilidade dimensional em clones de *Eucalyptus*, em função da região medula-casca.

Propriedades físicas	Posições radiais			Média geral	Variação radial (%)
	Central	Intermediária	Externa		
Contrações (%)					
Radial parcial	2,90	2,43	2,39	2,57	+6,21
Tangencial parcial	6,37	6,73	4,47	5,86	-21,50
Volumétrica parcial	8,03	8,99	7,32	8,11	-15,41
Volumétrica total	13,51	14,57	13,40	13,83	-5,50
Coefficiente de anisotropia (adm.)	2,21	2,83	1,91	2,32	-25,43

FONTE: Adaptação de Cruz (2000).

Quanto ao coeficiente de anisotropia, determinado pela relação matemática entre as contrações tangencial e radial, Cruz (2000) relata que quanto mais próximos os valores isolados das contrações lineares, menor a propensão da madeira a empenamentos e conseqüentes rachaduras, já que no momento da diminuição da umidade, a madeira vai reduzir suas dimensões em proporções semelhantes nos sentidos radial e tangencial.

No trabalho desenvolvido com madeira de 17 clones do gênero *Eucalyptus*, híbridos naturais, com 63 meses de idade, plantados no espaçamento 10 x 4 m, Xavier (2001) considerou sua madeira como normal, frente a classificação apresentada por Durlo e Marchiori (1992), que basearam

apenas nas médias do coeficiente de anisotropia. Esta classificação encontra-se no Quadro 9.

Quadro 9. Classificação das principais madeiras com base no coeficiente de anisotropia.

Classe	Coeficiente de anisotropia (θ)	Exemplos de madeiras
Excelente	$1,2 \leq \theta \leq 1,5$	cedro, sucupira e balsa
Normal	$1,5 \leq \theta \leq 2,0$	araucária, ipê, peroba, <i>Pinus echinata</i> e teca
Ruim	$\theta \geq 2,0$	álamo, araucária e imbuia

Fonte: Adaptação de Durlo e Marchiori, 1992.

Os valores médios encontrados por Xavier (2001) para as contrações tangenciais, radiais e volumétricas, na condição de 0% de umidade, foram de 8,05; 5,26 e 13,94%, respectivamente. Portanto, pode-se observar um coeficiente de anisotropia médio de 1,53. A mesma autora informou que os valores dos coeficientes de herdabilidade e das variâncias genéticas permitiram estimar ganhos de -10,8%, -21,1% e -13,9%, para as contrações totais tangencial, radial e volumétrica, respectivamente. Os sinais negativos indicam que os ganhos proporcionam uma redução nas médias destas características, visto que é desejável que a madeira apresente os menores valores possíveis de contrações, o que irá refletir diretamente no aumento de sua estabilidade dimensional.

No Quadro 10 encontram-se os resultados médios das contrações volumétricas, radiais e tangencias, do coeficiente de anisotropia e da massa específica básica, para sete clones de *Eucalyptus grandis* e três de *Eucalyptus saligna*, aos 90 meses de idade (Oliveira et al., 1997).

Quadro 10. Valores médios das contrações e da massa específica básica em madeiras de diferentes clones do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 90 meses de idade.

Clones	Contração (%)			Coeficiente de anisotropia	Massa específica básica (g/cm ³)
	Volumétrica	Radial	Tangencial		
1 ^g	25,4	5,8	8,9	1,52	0,508
2 ^g	17,5	5,1	8,5	1,67	0,519
3 ^g	13,7	5,8	8,4	1,44	0,548
4 ^g	14,0	5,7	8,8	1,56	0,595
5 ^g	14,4	5,9	9,7	1,65	0,597
6 ^g	13,1	5,4	8,6	1,59	0,586
7 ^g	14,3	6,3	9,2	1,46	0,534
8 ^s	14,0	5,8	9,1	1,58	0,577
9 ^s	25,6	6,3	9,7	1,54	0,514
10 ^s	14,7	6,1	9,8	1,62	0,602

Fonte: Adaptação Oliveira et al., 1997. g= *Eucalyptus grandis*, s= *Eucalyptus saligna*.

2.3. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Segundo Berlyn (1964) as propriedades físicas e mecânicas são funções da composição química, da proporção e da organização dos materiais e dos elementos constituintes da madeira.

O conhecimento da natureza química da madeira é de importância, pois se relaciona às propriedades, que conseqüentemente influirão na sua adequacidade para as diferentes formas de utilização. Portanto, somente através do conhecimento de sua composição, bem como das características de seus constituintes, podemos entender o seu comportamento como material e a posterior otimização do seu uso (Oliveira, 1997).

Um dos problemas a serem enfrentados no processamento da madeira diz respeito à corrosão provocada pelos produtos químicos presentes na matéria-prima sobre as serras e facas. O desgaste excessivo, além de provocar aumento no custo de manutenções, pode provocar acidentes pessoais de trabalho. Dependendo das propriedades físicas e químicas da madeira, o desgaste provocado nas ferramentas de aço pode ser considerável, e os danos podem assumir dimensões significativas. Contudo, pouco se conhece sobre o

grau de corrosão causado pela madeira de eucalipto nas lâminas de aço usadas no seu processo de desdobro em serrarias (Trugilho et al., 1998).

Os extrativos podem ser classificados em vários grupos, de acordo com as suas características estruturais, embora freqüentemente ocorra sobreposição na classificação, devido à natureza multifuncional associada com alguns compostos. É comum a denominação de resina para uma determinada classe de extrativos. Esse termo, no entanto, caracteriza mais a condição física do que designa os compostos químicos. Chama-se de resina uma série de compostos diferentes, que inibem a cristalização. Deste modo, os seguintes compostos podem ser componentes das resinas: terpenos, lignanas, estilbenos, flavanóides e outros aromáticos. Além destas substâncias, outros compostos orgânicos podem estar presentes nos extrativos como gorduras, ceras, ácidos graxos, álcoois, esteróides e hidrocarbonetos de elevada massa molecular (D'Almeida, 1988a).

Existe uma considerável variação na distribuição de extrativos através da madeira ao longo do tronco. Os açúcares, outros constituintes solúveis da seiva e depósitos de alimentos de reserva, tais como amido e gorduras, são encontrados no alburno. Já as substâncias fenólicas, são normalmente depositadas no cerne. Existe também uma variação na quantidade de material depositado ao longo do comprimento da árvore e no sentido medula-casca. Além disto, é observada uma variação dos extrativos na estrutura celular da madeira, pois as gorduras são encontradas nas células parenquimatosas, especialmente no parênquima radial e algumas outras substâncias são depositadas nos vasos de certas folhosas (Buchman, citado por Oliveira, 1997).

Segundo Krilov (1986), a madeira apresenta um variado e complexo grupo de extrativos, que contém numerosos componentes altamente reativos, tais como os ácidos orgânicos e as substâncias polifenólicas, sendo que algumas são capazes de formar complexos organolépticos. Tais complexos estão usualmente envolvidos nas reações de corrosão, quando ativadas por um pH apropriado.

Durante a formação do cerne, uma ampla variedade de substâncias extrativas, incluindo taninos, diversos corantes, óleos, gomas, resinas e sais

de ácidos orgânicos são acumulados nos lumes e paredes das células, resultando na cor escura da madeira. Algumas destas substâncias também ocorrem no alburno, mas em menores teores. Neste sentido, os extrativos do cerne chegam a exceder 30% da massa total da madeira seca. Sua presença promove alterações na cor, massa específica e durabilidade da madeira, que na maioria das vezes expressa-se de maneira positiva (Kramer e Kozlowski, citados por Oliveira, 1997).

Segundo Hillis (1984), os extrativos que se encontram no cerne de várias espécies do gênero *Eucalyptus* afetam as propriedades da madeira. Sob condições alcalinas, esses componentes promovem um considerável escurecimento da madeira. Os principais problemas podem se manifestar durante a utilização da madeira, ligados ao processo de polpação, à aderência de peças e à corrosão das ferramentas de corte.

Certa parte dos componentes da madeira pode ser extraída por solventes orgânicos. Os mais freqüentemente empregados são a água fria, que extrai substâncias como gomas, taninos, açúcares e corantes; a água quente, que além das substâncias listadas anteriormente, também extrai os amidos; a mistura etanol-tolueno, que extrai ceras, gorduras, resinas e óleos de outros componentes; os ésteres, que extraem as graxas, as resinas e os óleos e o metanol. Embora freqüentemente presentes em pequenas concentrações, essas substâncias têm grande importância na utilização da madeira. Os extrativos são responsáveis pela coloração peculiar de cada espécie de madeira e a presença de certos tipos tem sido apontada como a causa de dificuldades na adesão e de incômodos como dermatites em operadores de serras (Oliveira e Della Lúcia, 1994). No Quadro 11, encontra-se o resumo dos resultados de extrações com diferentes solventes, efetuadas por Oliveira e Della Lucia (1994) em algumas madeiras do gênero *Eucalyptus*.

Segundo Oliveira (1997), os teores de extrativos para as madeiras de espécies tropicais se apresentam, na maioria das vezes, com valores mais elevados que aqueles encontrados para as madeiras das espécies que se desenvolvem nos climas temperados.

Quadro 11. Valores médios dos teores de extrativos em diferentes solventes para algumas madeiras do gênero *Eucalyptus*.

Espécies	Solubilidade (%)			Extrativos totais (%)
	Água quente	Água fria	Álcool-tolueno	
<i>Eucalyptus citriodora</i>	11,3	8,0	12,1	16,0
<i>Eucalyptus grandis</i>	3,2	2,4	1,3	3,6
<i>Eucalyptus gummifera</i>	5,1	3,1	4,0	6,9
<i>Eucalyptus paniculata</i>	14,6	11,5	12,1	18,3
<i>Eucalyptus resinífera</i>	10,4	7,2	9,1	14,7
<i>Eucalyptus saligna</i>	6,3	3,3	5,6	10,0

Fonte: Adaptação de Oliveira e Della Lúcia, 1994.

Altos níveis de extrativos solúveis em água fria, água quente, álcool-tolueno e extrativos totais em determinadas madeiras podem indicar problemas relacionados com corrosividade das ferramentas de corte usadas no processamento da madeira. Este fato trará maiores dimensões durante o processamento primário, pois este está sempre associado às altas umidades presentes nas madeiras, devido aos métodos de resfriamento das serras e também pelas altas temperaturas provocadas pelo atrito entre a madeira e a serra (Mendes et al., 1998).

Segundo Burger e Richter (1991) a sílica é um material cuja fórmula química e grau de dureza assemelha-se aos diamantes. Elas se encontram no interior dos diferentes tipos de células sob formas variadas. Sua presença tem grande importância nas propriedades de trabalhabilidade da madeira. Um elevado conteúdo de sílica pode tornar antieconômica a conversão de toras em madeira serrada, devido ao seu efeito abrasivo sobre os dentes das serras e equipamentos. Neste mesmo sentido, Mendes et al. (1998) afirmam que o teor de cinzas da madeira também está ligado ao desgaste das ferramentas de corte durante o processamento. É importante salientar a relação desta propriedade com a qualidade do sítio de crescimento da árvore.

No Quadro 12, encontra-se o resumo dos resultados de extrações em água quente, água fria, álcool-benzeno, NaOH (1%) e dos teores de lignina e de cinzas, relatados por D'Almeida (1988b) em algumas madeiras do gênero *Eucalyptus*, de diferentes procedências.

Quadro 12. Valores médios dos teores de extrativos, de ligninas e de cinzas em madeiras do gênero *Eucalyptus*.

	Solubilidade (%)				Teor (%)	
	Água Quente	Água Fria	Álcool - Benzeno	NaOH (1%)	Lignina	Cinzas
Eucalipto (Espírito Santo)	2,0	1,1	1,4	14,8	25,5	0,3
Eucalipto (São Paulo)	2,0	1,1	1,4	14,8	25,5	0,3
<i>Eucalyptus grandis</i> (5 anos)	1,2	-	1,8	-	27,0	0,4
<i>Eucalyptus grandis</i> (7 anos)	3,2	-	2,6	-	26,2	-
<i>Eucalyptus saligna</i> (5 anos)	4,2	-	3,2	-	23,0	0,3
<i>Eucalyptus saligna</i> (7 anos)	4,7	-	3,6	-	25,8	0,2
<i>Eucalyptus saligna</i> (20 anos)	4,6	-	2,1	-	27,8	0,3

Fonte: Adaptação de D'Almeida, 1988b.

2.4. OPERAÇÕES DE USINAGEM

A grande deficiência na qualidade final dos produtos da indústria de móveis, bem como os baixos rendimentos na transformação da matéria-prima em produtos acabados são decorrentes principalmente de ineficiências no setor de secagem, usinagem e acabamentos superficiais da madeira.

Segundo Lima [199-] o objetivo de usinar a madeira não é somente cortá-la, mas produzir uma forma desejada quanto às dimensões e à qualidade da superfície, tão exato e econômico quanto possível.

Os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas, sendo:

- variações das propriedades da madeira, conforme já discutido anteriormente nas suas diferentes propriedades.
- condições das máquinas - relacionado diretamente ao desgastes dos componentes das máquinas que alteram o seu funcionamento. Os principais aspectos a serem considerados são a manutenção, o balanceamento e o alinhamento do eixo porta ferramentas (Silva et al., 1996);
- ferramentas de corte - relacionado ao estado de conservação do gume de corte e a escolha da ferramenta mais adequada;
- treinamento do operador - a regulagem e o ajuste correto das máquinas é função do grau de conhecimento do operador sobre todas as regulagens

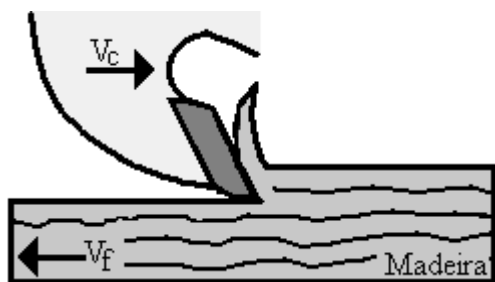
existentes que afetam diretamente a qualidade da superfície usinada (Silva et al. 1996).

Os inspetores de qualidade devem compreender bem todas as especificações presentes num projeto. Além disto é preciso reconhecer que condições como tipo de máquina utilizada, desgaste da ferramenta, vibrações indesejadas, parâmetros de usinagem empregados e até mesmo o operador da máquina refletem de alguma maneira na geometria da superfície. Todo esse conjunto de informações fornece uma ferramenta muito útil para o controle de qualidade do processo de fabricação (Bet, 1999).

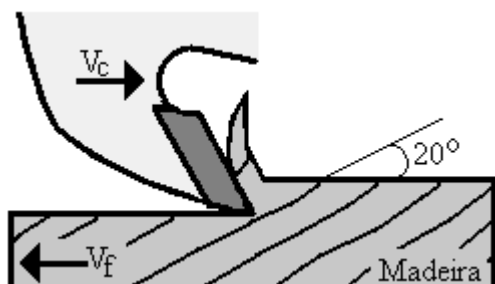
É sabido que a madeira é anisotrópica, podendo então ser usinada de diferentes maneiras, em função da direção e sentido de ataque entre a ferramenta e as fibras da madeira. Leitz (2001) define que pode-se trabalhar a madeira longitudinalmente, transversalmente e no topo tendo cada um suas peculiaridades (Figura 1).

Segundo Bonduelle et al. (2002), a usinagem da madeira poderá ser expressa pela função 5M, sendo:

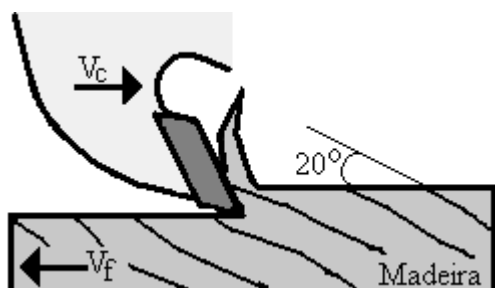
- matéria-prima – relacionada com todas as propriedades intrínsecas da madeira e suas interações com o processo;
- máquina – relacionado com os aspectos construtivos das máquinas incluindo os dispositivos de fixação, de condução e de exaustão de cavacos que visam melhoria da operação de usinagem;
- metodologia – engloba toda a definição dos parâmetros de usinagem a serem utilizados, bem como escolha das ferramentas mais adequadas para otimizar o processamento;
- mão-de-obra – considera o treinamento dos operadores executores das tarefas de usinagem que deve ter conhecimentos de todos os itens anteriores para poder interferir, no momento certo, caso note alguma deficiência no processo;
- meio ambiente – considera-se que todas as fases de processamento devem evitar degradações do ambiente com pensamento de melhor aproveitamento da matéria-prima, minimizando os resíduos e ruídos.



Corte longitudinal ($90^\circ - 0^\circ$) a favor das fibras, cuja madeira apresenta com grã reta. O trabalho é fácil de ser executado. Boas qualidades, para as superfícies, podem ser obtidas mesmo com altas velocidades de avanço da madeira.



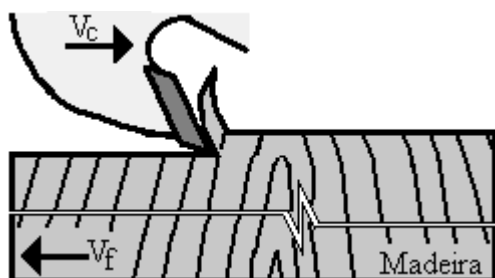
Corte longitudinal ($90^\circ - 20^\circ$), deitando (a favor) as fibras, mas a madeira usinada neste caso apresenta grã inclinada ($\approx 20^\circ$). Nota-se que poderá ter a presença da clivagem do cavaco formado.



Corte longitudinal ($90^\circ - 20^\circ$), levantando (contra) as fibras, cuja madeira apresenta grã inclinada ($\approx 20^\circ$). O trabalho é difícil devido a separação prévia no sentido das fibras. Se possível deve-se evitar este sentido de corte, como, por exemplo, invertendo o sentido de giro da ferramenta.



Corte transversal às fibras da madeira ($0^\circ - 90^\circ$). A usinagem é relativamente fácil, contudo é obtida uma superfície áspera.

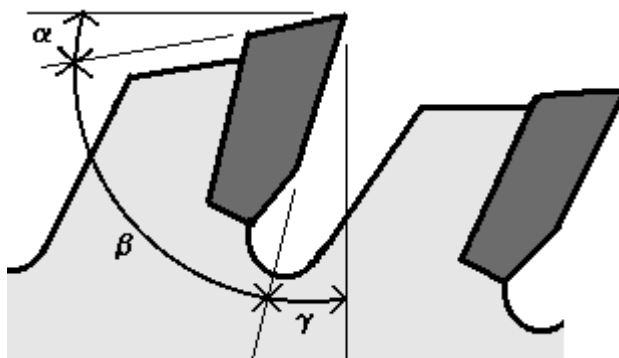


Corte no topo da madeira ($90^\circ - 90^\circ$). A usinagem exige altas forças de corte. O trabalho é difícil e apresenta, na maioria das vezes, superfície áspera, principalmente em condições de usinagem não adequadas.

Fonte: Adaptação de Leitz (2001).

Figura 1. Aspecto ilustrativo das técnicas de se cortar a madeira, sendo V_c = velocidade de corte da serra circular e V_f = velocidade de avanço da madeira.

O conhecimento dos ângulos característicos das ferramentas de corte fornece subsídios para prever porções da qualidade da superfície usinada (Bonduelle, 2001). Na Figura 2, encontram-se esboçados os ângulos básicos de um dente de serra circular. Se o ângulo de ataque (γ) variar de -2° a 2° , ocorre forte compressão das fibras, necessitando de altos esforços de usinagem. A superfície obtida é considerada de baixa qualidade. O ângulo de folga ou livre (α) é necessário para evitar atritos que aumentam o esforço de usinagem. Para a maioria dos fabricantes de serras circulares, seu valor ideal é próximo de 10° ($5^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$). A variação do ângulo de cunha (β) prediz a resistência do dente frente ao ataque na madeira e é dependente do tipo de material e da metodologia empregados na sua confecção. Quanto menor seu valor, menor será o esforço de usinagem. Contudo, baixos valores tendem a promover a pré-clivagem e torcimento ou quebra do dente. Para a maioria dos fabricantes de serra, o valor mínimo de β utilizado é 45° , baseando-se na resistência do material que é utilizado em sua confecção, que em quase sua totalidade é o metal duro (HM), vulgarmente chamado de wídia.

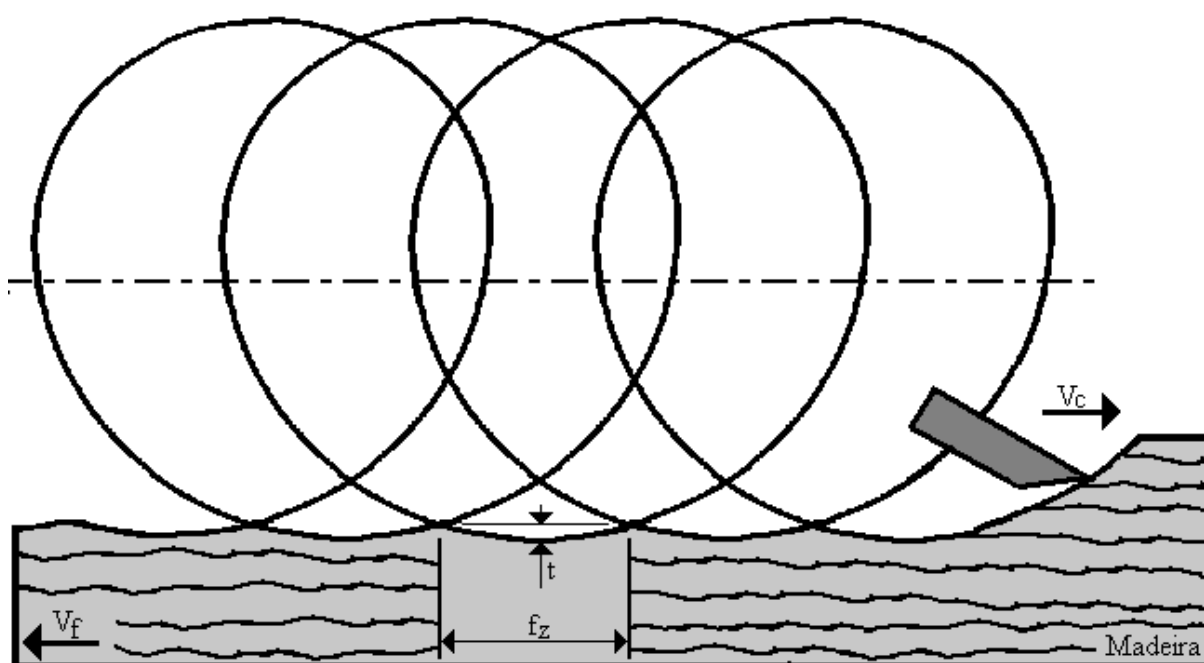


Fonte: Adaptação de Freud (1998).

Figura 2. Aspectos ilustrativos dos ângulos básicos dos dentes de uma serra circular, sendo α = ângulo livre; β = ângulo de cunha e γ = ângulo de ataque.

Neste momento é importante ressaltar que o conceito de qualidade da usinagem é apresentado diferentemente por dois grupos de pesquisadores. O primeiro grupo conceitua a qualidade apenas através dos valores normativos

da usinagem, através do cálculo do avanço por dente (f_z) ou da profundidade do arco ciclóide (t), sendo expresso em marcas por polegada linear ou em milímetros (Weissenetein, 2002; Costa, 1996; SENAI/CETMAM, 1996; SENAI, 1995). Esses parâmetros adotados encontram-se ilustrados na Figura 3. O segundo grupo considera não somente os parâmetros indicados acima, como também a presença de falhas na superfície, que são geradas em função da estrutura da madeira pela presença dos diferentes tipos de células, de suas diferentes dimensões e orientações. Toda essa variação estrutural pode apresentar defeitos na forma de “buracos”, trincas e pré-rachamentos (Bonduelle et al., 2002, Silva et al., 1999). A diferença entre os dois grupos está relacionada com as características do material a ser usinado. Sempre se executou adaptações dos processos de usinagem presentes na indústria metal-mecânica para a indústria da madeira. Contudo, não se verificaram as principais diferenças existente na estrutura dessas duas matérias-prima.



Fonte: Adaptação de Weissenstein, 2000.

Figura 3. Valores normativos de um aplainamento, sendo f_z = avanço por dente, t = profundidade do arco de ciclóide, V_c = velocidade de corte das facas e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira.

Quanto menor o valor do avanço por dente, melhor será a qualidade do acabamento. Segundo Lima [199-] ao aplainar uma madeira deve-se ter, no mínimo, oito marcas por polegada. A melhoria da qualidade do acabamento pode ser alcançada com a redução da velocidade de avanço da madeira e/ou o aumento do número de gumes de corte e da frequência de rotação do eixo porta ferramenta da máquina. Caso este último seja aumentado demasiadamente, poderá ser alcançado um ponto onde os gumes giram mais rápido que o tempo de levantamento dos cavacos. Este fenômeno é denominado de raspagem que provoca o escurecimento da superfície usinada e desgaste prematuro do gume de corte da ferramenta, diminuindo a sua vida útil. Neste sentido, Bonduelle (2001) afirma que para as operações de aplainamento ou fresagem, os valores de avanço por dente devem estar no intervalo de 1,0 a 1,8 mm. Quanto ao aumento do número de dentes para melhoria da qualidade, o mesmo autor menciona que esta prática apenas é válida quando se dispõe de tecnologia hidrocentrante ou de modo geral através da fixação hidráulica tal como no sistema “power lock”. Estas tecnologias garantem a eliminação, em grandes proporções, do jogo entre o eixo porta-ferramentas e o furo da ferramenta de corte assim como o alinhamento (retificação) dos gumes sobre o mesmo cilindro de corte.

No Quadro 13, encontra-se a classificação (SENAI, 1995) da qualidade dos acabamentos para fresas, desempenho e desengrosso em função dos valores de avanço por dente. Já no Quadro 14 estão listados os valores de avanço por dente para corte, em serra circular, de diferentes materiais.

Quadro 13. Classificação da qualidade do acabamento para fresas, desempenho e desengrosso, em função dos valores do avanço por dente (f_z).

Avanço por dente (f_z), em mm	Qualidade do acabamento
0,3 a 0,8	Fino
0,8 a 2,5	Médio
2,5 a 5,0	Grosso

FONTE: SENAI, 1995.

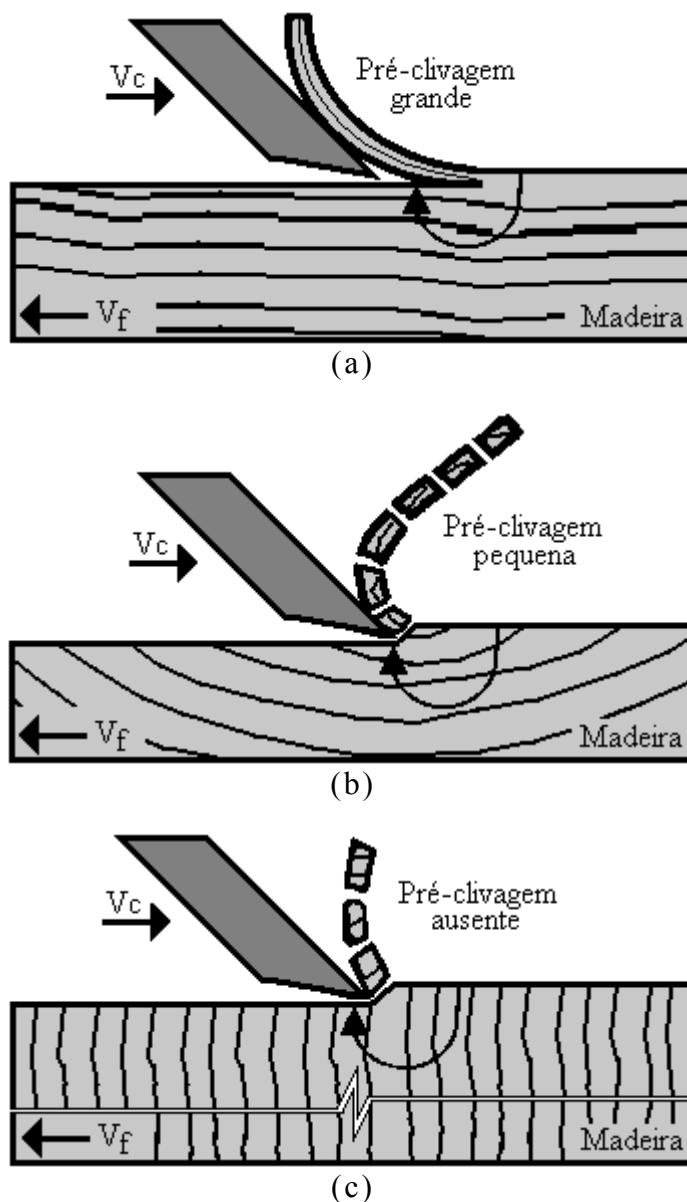
Quadro 14. Valores indicados para o avanço por dente (f_z) em função dos tipos de materiais a serem seccionados em serras circulares.

Avanço por dente (f_z), em mm	Tipo de material a ser usinado
0,2 a 0,9	corte longitudinal em madeira macia
0,1 a 0,2	corte transversal em madeira macia
0,05 a 0,15	madeira dura
0,1 a 0,25	chapa aglomerada
0,05 a 0,12	chapas duras de fibras
0,05 a 0,1	chapas folheadas
0,02 a 0,05	chapas revestidas com material sintético

FONTE: Adaptação de SENAI, 1995.

Segundo CETMAM/SENAI (1996), o fenômeno da pré-clivagem ocorre pela separação que a madeira sofre devido sua estrutura interna, que tende a acompanhar as forças impostas pelos gumes após o início do corte. Ele é também conhecido por pré-rachamento, pois a madeira ao invés de ser incisada por pressão é separada ao longo das fibras por rachaduras, antes mesmo do seu corte propriamente dito. A pré-clivagem possui magnitudes diferentes em função do tipo de corte, sendo considerada de grande intensidade no corte longitudinal, de baixa no corte transversal e inexistente no corte de topo (Figura 4). Para o beneficiamento da madeira, o efeito da pré-clivagem possui duplo sentido, isto é, poderá ter caráter positivo para a manutenção da afiação dos gumes de corte, ou caráter negativo devido ao fato de produzir superfícies mais ásperas porque o desbaste não é separado de forma plana, e sim rasgado.

Segundo Bonduelle et al. (2002), as magnitudes da pré-clivagem podem ser reduzidas, mas não eliminadas, uma vez que fazem parte da estrutura da madeira. Os procedimentos empregados para redução das magnitudes das pré-clivagens são, entre outros, a variação dos ângulos característicos da ferramenta de corte e o uso de contra-facas. Neste sentido, na Figura 5 pode ser observada a melhoria da qualidade da superfície usinada com o auxílio da contra-faca. Nota-se que na Figura 5-a a usinagem foi executada sem as contra-facas e apresentam regiões, em destaque, de forte pré-clivagem, fato não observado na Figura 5-b.

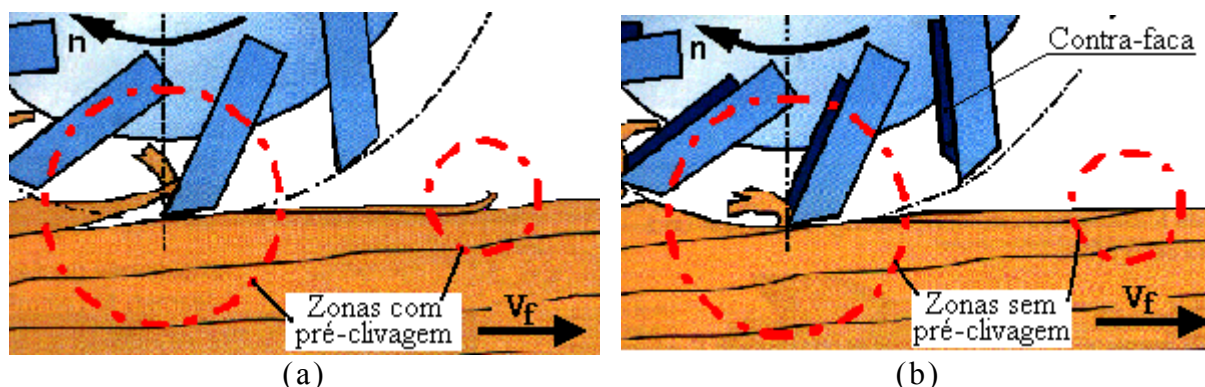


Fonte: CETMAM/SENAI, 1996.

Figura 4. Magnitudes das pré-clivagens na madeira, em função da usinagem, sendo a = corte longitudinal; b = corte transversal; c = corte no topo, V_c = velocidade de corte das facas e V_f = velocidade de avanço da madeira.

A colocação das contra-facas é executada no peito do dente sobre o ângulo de ataque, sem alterar sua grandeza, pois a contra-faca não atinge a ponta (gume) do dente. As contra-facas promovem a ruptura do cavaco em formação, evitando o rachamento contínuo ao longo do plano de fendilhamento paralelo ao comprimento das fibras (Bonduelle et al., 2002).

Os mesmos autores destacam as condições de usinagem da madeira que são, de maneira geral, inadequadas, onde podem-se citar as baixas velocidades de corte (V_c) encontradas na maioria dos tipos de usinagem. No Quadro 15 encontram-se recomendações de valores de V_c para diferentes tipos de madeira e derivados.



Fonte: Adaptação de Leitz (2001).

Figura 5. Uso de contra-facas para redução da pré-clivagem na madeira, sendo a = usinagem sem as contra-facas; b = usinagem com as contra-facas; n = frequência de rotação do eixo porta facas e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira. Em destaque as regiões de pré-clivagem e as qualidades obtidas.

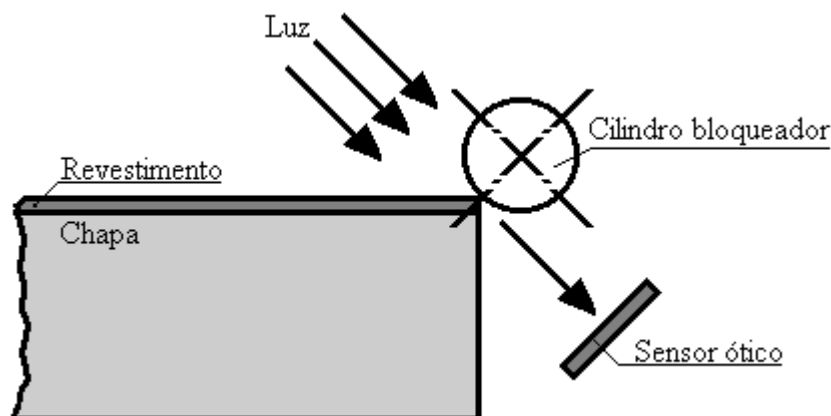
Quadro 15. Velocidades tangenciais da serra circular recomendadas para vários materiais.

Material a ser cortado	Velocidade de corte (m/s)
Madeira de coníferas	70 a 100
Madeira de folhosas (macias a médias)	50 a 80
Madeira de folhosas muito duras e laminados plásticos	30 a 60
Aglomerado e compensado	40 a 70
Aglomerado denso ($d > 720\text{kg/m}^3$)	35 a 50
Madeira comprimida ($900 < d < 1400\text{kg/m}^3$)	30 a 60

FONTE: adaptação de Lima [199-]

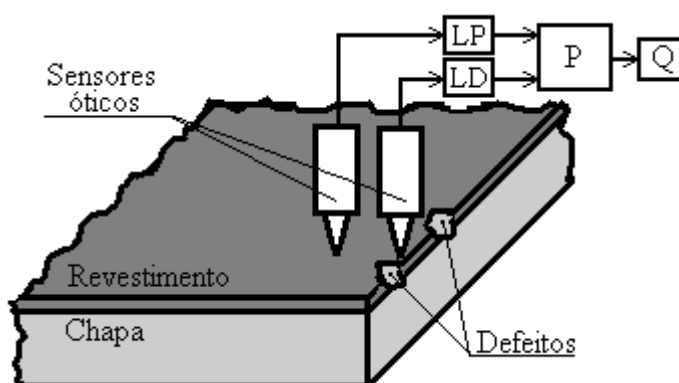
Conforme levantamento bibliográfico efetuado, pode-se dizer que a grande maioria das pesquisas para definir a qualidade de superfícies usinadas em madeiras e derivados, não apresentaram resultados satisfatórios. Tal fato é devido à estrutura complexa desta matéria-prima que diferentemente do aço, do plástico, dos acrílicos e de outros materiais que são mais homogêneos tanto na sua constituição como na sua organização molecular. Além disto, as adaptações dos processos de usinagem oriundo da indústria metal-mecânica para a indústria da madeira, conforme já mencionado anteriormente, não se preocupou em verificar as principais diferenças existente na estrutura dessas duas matérias-prima. Neste sentido, Dubenkropp (1982) utilizando um aparato óptico (Figura 6), pôde inferir sobre a qualidade obtida das quinas de uma chapa revestida, após a usinagem de canto com uso de um cabeçote numa plaina. Um cilindro bloqueador era ajustado o mais próximo possível da quina e que numa situação de excelente qualidade, evitaria a completa passagem da luz. A distância mínima de passagem da luz, a qual pudesse ser mensurada pelo sensor situado no lado oposto a emissão dessa luz, era de 2 a 3 mm. A luz capturada era quantificada e representava diretamente a imperfeição da quina. Os resultados obtidos não foram bem confiáveis, como indicou o pesquisador. Ele afirmou que a cor da madeira abaixo do revestimento, a característica da estrutura do defeito e a presença de sujeiras afetaram a reflexão da luz. Estes fatos promoveram alteração dos resultados obtidos. Para aumentar a confiabilidade do método, sugeriu-se que várias medições consecutivas, lado a lado, fossem adotadas.

Baseando-se também no sistema ótico, Merkel e Mehlhorn (1980) utilizaram um sistema de dois sensores (Figura 7) para medir a qualidade de usinagem em quinas de chapas revestidas. A quantificação do defeito era estabelecida pela diferença entre as leituras dos dois sensores, pois um dos sensores representava a superfície isenta de defeito e o outro a presença do defeito. Durante a medição, coletava-se a profundidade do defeito em função do deslocamento do aparelho, sendo possível inferir sobre o volume total presente. Tal procedimento somente foi possível de medição em laboratório, utilizando baixa velocidade (1,7 mm/s) e exigiu total sincronismo entre a velocidade de avanço e de medição.



FONTE: Tröger, citado por Dubenkropp (1982).

Figura 6. Aparato, do tipo ótico, utilizado para mensurar a qualidade da quina em uma chapa revestida.

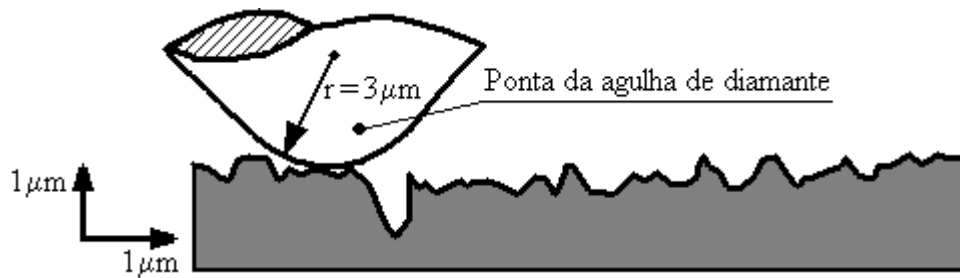


FONTE: Merkel e Mehlhorn, 1980.

Figura 7. Instrumento usado para medição da qualidade de superfícies usinadas de uma chapa revestida, sendo LP= leitura padrão, LD= Leitura do defeito (profundidade), P= processamento dos dados por diferença e Q= qualidade registrada.

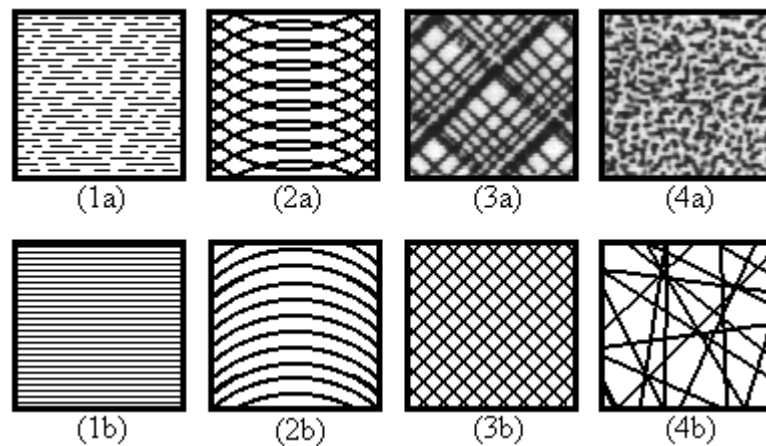
Saljé e Paulmann (1989) determinaram a qualidade de superfície após usinagem ou lixamento através de leituras executadas com equipamento de arraste, que possuía uma agulha rígida de diamante com raio de $3\ \mu\text{m}$ (Figura 8). Os resultados foram comparados com padrões estabelecidos pela DIN 4761 (Figura 9) e com estéreo-microscópio eletrônico de luz inclinada (Figura 10). A limitação do aparelho de arraste utilizado foi o grande raio da agulha, que impediu sua penetração em todos os declives da superfície. As

leituras com microscópio se mostraram mais precisas. A geometria da superfície que foi variada em função dos riscos apresentados em relação ao tipo de ferramenta de corte ou abrasivos e também pelas variáveis de processo.



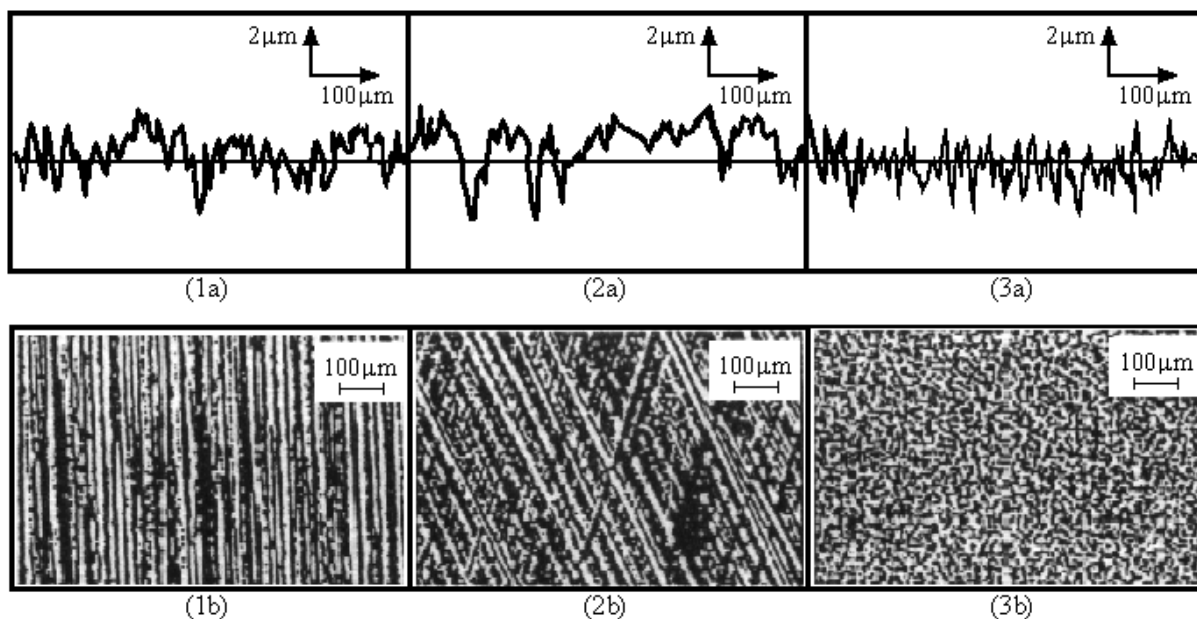
FONTE: Saljé e Paulmann (1989).

Figura 8. Medição da superfície usinada/lixada com instrumento de arraste, que possuía agulha rígida com ponta de diamante (raio de 3 μm).



FONTE: DIN 4761, citada por Saljé e Paulmann (1989).

Figura 9. Padrões de qualidade de superfícies usinadas, sendo a e b as superfícies obtidas em processo de ferramentas/lixas alinhadas e desalinhadas, respectivamente; 1- lixamento linear tipo vai e vem; 2- lixamento tangencial tipo circular; 3- usinagem com dentes inclinados e 4- lixamento utilizando grãos soltos.



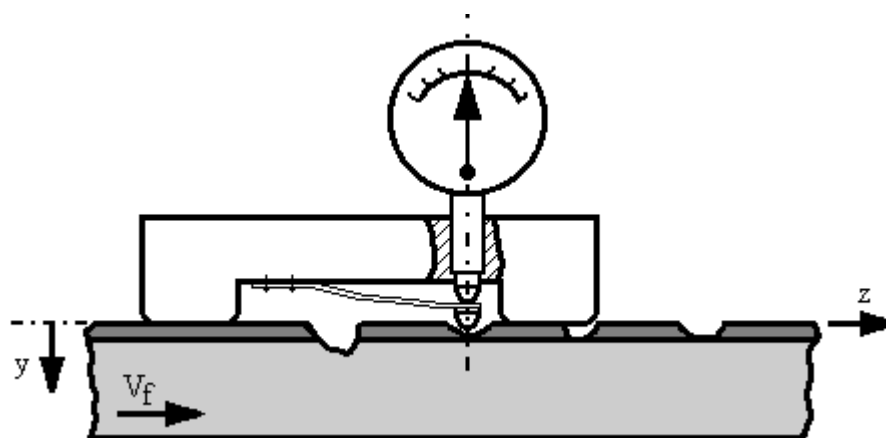
FORTE: Saljé e Paulmann (1989).

Figura 10. Ilustração esquemática das qualidades de superfícies lixadas obtidas a partir de estéreo-microscópio eletrônico de luz inclinada, sendo a- perfil resultante; b- imagem obtida, 1- lixamento linear tipo vai e vem; 2- usinagem com dentes inclinados e 3- lixamento utilizando grãos soltos.

Em seu trabalho, Dubenkropp (1982) afirma que os sensores óticos foram menos precisos que os sensores de arraste (Figura 11), devido às interferências causadas na reflexão da luz. O mesmo autor informou que para as determinações das qualidades em cantos aplainados, em chapas revestidas, foram executadas três medições simultâneas, por sensores distintos. Dois sensores estavam posicionados, sendo um em cada quina. O terceiro sensor encontrava-se no canto da chapa. Este último apresentou resultados mais variados devido à estrutura da superfície da chapa, sem o revestimento, ser mais heterogênea. O ângulo de leitura dos sensores situados nas quinas das chapas que melhor representou os defeitos encontrados foi de 45° .

Bonduelle (1994) afirmou que os valores obtidos para as qualidades de superfícies usinadas podem prever o momento certo de troca da ferramenta, isto é, a vistoria da qualidade poderá ser executada simultaneamente com o processo de usinagem, na linha de produção e a partir de um valor de defeito

encontrado, indicaria a necessidade de troca da ferramenta. Esse valor evitaria a substituição de ferramentas em função da distância usinada, representada pelo volume de peças processadas, ou por tempo de trabalho da ferramenta, geralmente determinado pelos turnos de trabalho.



FONTE: Dubenkropp (1982).

Figura 11. Aparato, com sensor de arraste, utilizado para mensurar a qualidade das quinas dos cantos usinados de chapas revestidas.

Um fator que merece ser destacado é o pensamento equivocado de que a indústria madeireira não necessita produzir superfícies tão bem acabadas, com baixas tolerâncias nos desvios das condições ótimas obtidas. É de se esperar que o desenvolvimento do setor madeireiro elimine os conceitos negativos e não vise somente aumentar a produtividade, mas também melhorar a qualidade dos produtos, cujos objetivos são de tornar o setor mais competitivo no âmbito nacional e internacional. Neste contexto, procurou-se o desenvolvimento desta revisão baseada no setor metal-mecânico para poder inferir para a situação do material madeira, pois conforme Bet (1999), com o desenvolvimento de novos equipamentos e de novas técnicas de análise de superfícies, o campo de aplicação tem se expandido acentuadamente e hoje já se encontram várias aplicações fora do campo puramente mecânico.

O cumprimento das funções atribuídas a uma superfície técnica exige que a mesma possua propriedades relacionadas com a sua integridade e com suas características geométricas. O termo textura é o mais utilizado no estudo

das características geométricas de uma superfície e tem um papel importante na previsão do desempenho da máquina envolvida no processo de usinagem. Muitos trabalhos buscam determinar a textura esperada para vários processos de usinagem. Associando-se a isto o desenvolvimento de novos métodos de medição de textura em processo, tem-se a geração de técnicas de monitoramento que permitem avaliar desde o desgaste de ferramentas de usinagem até a rigidez da máquina. Neste contexto, muitos pesquisadores se dedicaram e outros ainda se dedicam, ao estudo dos parâmetros de textura, fato que resultou numa multiplicidade desses parâmetros. Cabe salientar que é um consenso geral de que um único parâmetro não é suficiente para caracterizar algo tão complexo quanto a textura de superfícies. É necessário estudar cada caso particular antes de se decidir quais parâmetros devem ser adotados (Bet, 1999).

A tecnologia de superfície pode ser entendida como sendo a área tecnológica que se ocupa com a descrição e avaliação de uma superfície e das camadas logo abaixo dela. O termo textura superficial tem sido muito utilizado para descrever a qualidade geral da superfície de uma peça, esquecendo-se aí das propriedades relativas à integridade. Outro termo muito utilizado para descrever a qualidade geral de uma superfície é o acabamento superficial. Este é de fato um termo coloquial e não traz nenhuma informação quantitativa a respeito da textura. Mas, via de regra, um bom acabamento implica em baixos valores para parâmetros verticais de rugosidade e vice-versa (SME, citado por Bet, 1999).

A superfície é o elemento de definição da qualidade e, segundo Mesquita, citado por Bet (1999), caracteriza-se pela fronteira de um elemento de espaço fechado com o ambiente. Contudo, ela pode ser dividida em superfície geométrica, real e efetiva. A superfície geométrica é aquela especificada nos projetos, de geometria e topografia ideal, mas os desvios gerados no processo de fabricação não permitem que seja obtida de forma absoluta. A superfície real é aquela que de fato é obtida após o último processo de fabricação.

Embora seja possível reproduzir tridimensionalmente uma porção da superfície, o mais comum é encontrar representações em duas dimensões,

denominadas de perfis. Na verdade, para a maioria dos instrumentos de medição da textura, a representação tridimensional é obtida através de alinhamentos de um número finito de perfis paralelos e adjacentes. Quanto maior o número desses perfis, melhor será a representação tridimensional da superfície. O perfil é a intersecção da superfície com um plano perpendicular a ela. Na Figura 12, estão representados os três tipos de perfis tomando como base uma superfície geométrica supostamente plana, sendo medida por um apalpador do tipo estilete. É notado que os instrumentos de medição não conseguem captar todas as características e irregularidades do perfil real, apresentando como resultado o que se denomina de perfil efetivo, o qual se aproxima do real. A diferença existente entre os dois perfis depende essencialmente do sistema de medição.

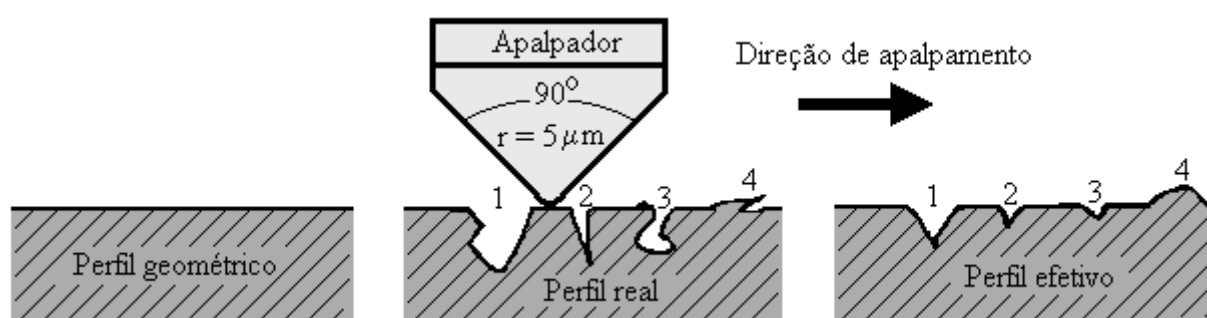
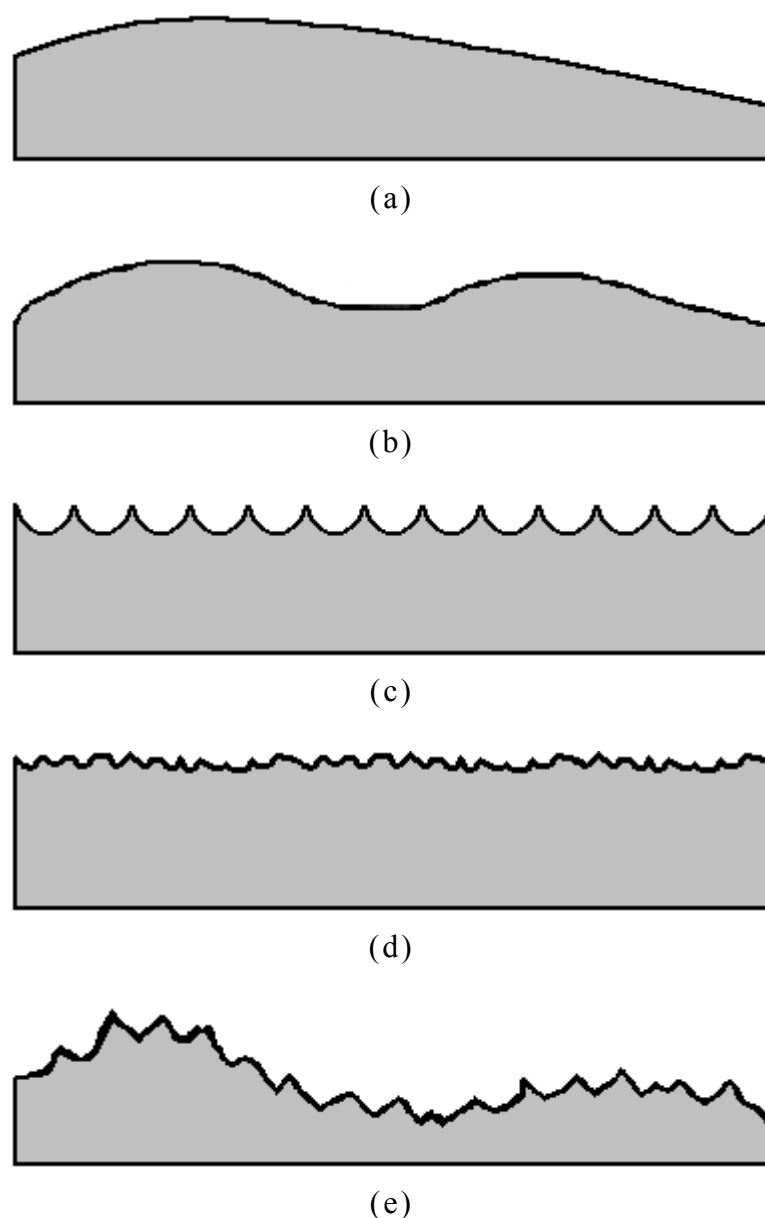


Figura 12. Ilustração dos diferentes tipos de perfis, segundo Sander, citado por Bet (1999).

No perfil real podem ser encontrados seis tipos diferentes de desvios, que são gerados em função de causas bem específicas dentro do processo de confecção da superfície e que são caracterizados pelas suas formas geométricas. Eles são classificados por ordens e encontram-se ilustrados na Figura 13 (DIN 4760, 1982). Cabe salientar que os desvios de 5ª e 6ª ordem não são mais representáveis graficamente. Segundo Bet (1999), cada desvio possui características distintas, mas não se encontram nitidamente separados, sendo que eles se sobrepõem formando o perfil completo.



Fonte: Adaptação de DIN 4760, 1982

Figura 13. Desvio das formas, através de representação em uma seção de perfil para a superfície, sendo a-, b-, c- e d-, os respectivos desvios de 1^a, 2^a, 3^a e 4^a ordens; e- superposição desses desvios.

Segundo Sander e Reichard citados por Bet (1999) ao se examinar uma superfície completa ou uma de suas superfícies parciais, os desvios que possam ser verificados em toda a sua extensão são denominados de desvio de 1^a ordem. O comprimento (λ) deste desvio é muitas vezes maior que sua profundidade (A). A relação λ/A é superior a 1000 e pode ser usada para

caracteriza-los. Os desvios de 2ª ordem, denominados de ondulações, podem se repetir periodicamente. Sua relação λ/A varia entre 100 e 1000. Já os desvios de 3ª ordem são as raias e ranhuras oriundas das marcas de avanço da ferramenta e que somados aos desvios de 4ª e 5ª ordem compõem a rugosidade da superfície. Esses desvios possuem uma pequena relação λ/A , variando de 5 a 100. Finalizando, os desvios de 6ª ordem estão relacionados com a estrutura da matéria e não são incluídos nas medições usuais de rugosidade.

O somatório dos desvios de 1ª ordem (forma), de 2ª ordem (ondulação) e de 3ª a 5ª ordens (rugosidade) forma o perfil graficamente representável e sobre o qual são feitas todas as considerações relativas à metrologia de superfície (Bet, 1999).

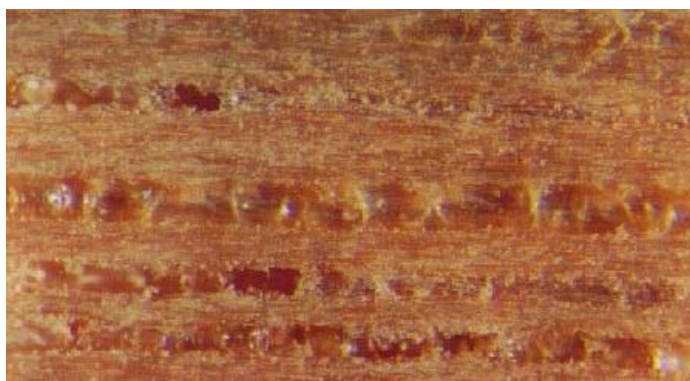
No Quadro 16 encontra-se a descrição das fontes de desvio pela sua ordem de classificação, bem como os exemplos de suas prováveis causas.

Quadro 16. Classificação dos desvios de forma em função de sua ordem, exemplos e suas causas geradoras.

Ordem do Desvio	Tipos de desvio	Causas geradoras dos desvios de forma
1ª (Forma)	Planicidade, cilindridade, retilinicidade	Defeitos nas guias das máquinas, deformações por flexão da peça, fixação errada da peça, desgaste nas guias da peça
2ª (Ondulação)	Onda	Fixação excêntrica ou defeito de forma de uma fresa, fixação excêntrica da peça, vibrações da máquina, da ferramenta ou da peça, deflexão da peça durante a usinagem.
3ª (Rugosidade)	Ranhuras ou raias	Forma da ferramenta, incluindo gumes e raio de quina, avanço ou profundidade de corte
4ª (Rugosidade)	Estrias, escamas, protuberâncias	Processo de formação do cavaco (cavaco arrancado, cavaco de cisalhamento, gume postiço), deformação do material com jato de areia.
5ª (Rugosidade)	Microestrutura do material	Processo de cristalização, modificação da superfície por ataque químico e corrosão.
6ª	Reticulado cristalino do material	Processo físico e químico da estrutura da matéria, tensões de deslizamento na estrutura reticular do material.

FONTE: Adaptação de DIN 4760, 1982.

Conforme já mencionado anteriormente, para Bonduelle et al. (2002) a quantificação da qualidade da superfície usinada em madeira e derivados deve ser mais profunda que aquela encontrada para metais, pois a estrutura anatômica promove o aparecimento de grandezas relacionadas aos desvios de 6ª ordem. Neste sentido, os vasos, os lumes das fibras e outras células, falhas na estrutura, trincas de compressão figuram como elementos complicadores deste procedimento, uma vez que requerem instrumentos de medição com alta precisão (μm) e grandes amplitudes na escala (1 a 2 mm). Pode-se verificar pela Figura 14, a presença de alguns destes elementos numa superfície desengrossada, com aumento de 20 vezes.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 14. Foto de uma superfície de madeira de *Eucalyptus grandis* desengrossada, nota-se a presença dos vasos e pedaços de paredes (aumento 20X).

2.5. ACABAMENTOS SUPERFICIAIS

Todo produto originário da madeira necessita de tratamento adequado para a proteção contra as adversidades ambientais e de uso. Com um acabamento satisfatório, tem-se como garantia a durabilidade e a estética do produto ao longo do tempo (Tintas Coral, 1994).

Normalmente, pensa-se que a aplicação dos produtos de acabamento para madeira inicia-se na sua deposição sobre a peça, mas nota-se que atividades anteriores devem ser cuidadosamente controladas para que os resultados obtidos sejam satisfatórios. Dentre todas as atividades necessárias ao acabamento, pode-se destacar a vistoria das condições da superfície de ancoragem (determinado pela preparação), o preparo do produto, a regulagem dos equipamentos e a aplicação propriamente dita. Após a execução de todas estas atividades, é possível obter uma boa qualidade do produto final (Compêndio, 1992).

Segundo Watai (1995) e Tintas Coral (1994), a preparação propriamente dita da superfície é de primordial importância para o acabamento de madeira. Normalmente, o filme de acabamento ou revestimento não elimina os defeitos, mas os torna mais evidentes. Riscos superficiais ou imperceptíveis em madeira natural podem se tornar nítidos após o recebimento de acabamentos brilhantes.

A alta qualidade dos revestimentos é alcançada se a superfície que ancorará os produtos de acabamento estiver em condições ideais, possuindo uma textura fina (baixa rugosidade), sem defeitos e com limpeza adequada, isto é, ausência de partículas sólidas e/ou líquidas. A rugosidade das superfícies deixada pela serra pode ser eliminada com lixas, mas quando for excessivamente alta, deve-se executar o aplainamento antes do lixamento (Watai, 1995). Já a correção dos defeitos deverá ser executada através de técnicas mais específicas como o emasseamento.

Determinados produtos de natureza sintética, conhecidos por “*poliéster*”, possuem uma forte reação de inibição de sua secagem pelo contato com os componentes químicos da madeira, sendo necessária a aplicação de outro produto isolante, geralmente de natureza poliuretânica, (Compêndio, 1992).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE COLETA DAS ÁRVORES

As árvores utilizadas neste trabalho foram procedentes de reflorestamentos localizados na Fazenda Monte Alegre, mais precisamente no talhão 195 da Guarda Florestal Pinhal Bonito, de propriedade da Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A. Esta Guarda compreende uma área total de 19,4 ha.

A latitude média da área é de 24° 08' S, a longitude média de 50° 37' W e a altitude variando de 700 a 826 metros. O solo é um latossolo vermelho-escuro, textura argilosa a muito argilosa, fase floresta. O tipo de relevo predominante é ondulado I com inclinações entre 8 e 13%. O clima predominante, segundo Koppen, é sub-tropical úmido transicional para o temperado propriamente dito, classificação Cfa/Cfb. O espaçamento inicial era de 2,5 x 1,70 m. Os procedimentos silviculturais basearam-se apenas em três desbastes aos 7, 12 e 19 anos de idade, não sendo executadas desramas.

3.2. DESCRIÇÃO DO MATERIAL E COLETA DOS DADOS

A madeira utilizada neste trabalho foi proveniente de plantios comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Através da confecção de exsicatas, a espécie foi registrada no Herbário do Centro de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Paraná sob o código EFC 9646. Esses plantios foram estabelecidos em dezembro de 1976, portanto, indicavam uma idade de 24 anos e três meses na época da colheita. Foram selecionadas aleatoriamente seis árvores, num raio de 50 metros entre elas, para evitar as variações de sitio. Durante o abate foram tomadas algumas precauções como o correto direcionamento da queda das árvores e rápida passagem da moto-serra na porção central da boca de corte, tão logo se iniciasse a queda da árvore. A primeira precaução visou evitar as alavancas

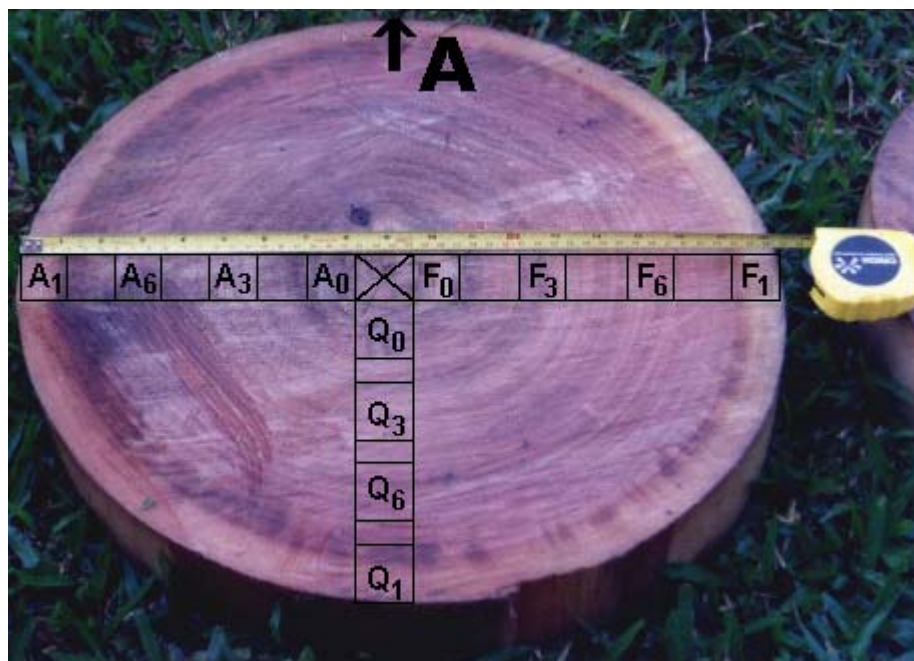
que podem promover rompimento de fibras ao longo do fuste e a segunda visou minimizar as rachaduras de topo.

Após o abate foram coletados os valores dos diâmetros na base, no DAP, a três e a seis metros e os comprimentos até os diâmetros de 8,0 e 30,0 cm, com intuito de calcular os rendimentos volumétricos para cada fim destinado, isto é, definir porções da árvore para fins de serraria, de celulose e de energia. De cada árvore foi retirada apenas uma tora, com comprimento comercial de três metros. Essa tora localizava-se entre três e seis metros de altura (Figura 15). Tal procedimento foi adotado visando excluir a variação da massa específica ocorrente no DAP, fato que poderia comprometer os resultados obtidos. A seguir, foram retirados de cada árvore dois discos de oito centímetros de espessura, localizados nas extremidades das toras (Figura 15), totalizando doze discos. Estes discos foram identificados, por códigos (letras), por árvore e altura, mantendo-se seu posicionamento original dentro da árvore, através de marcações do tipo seta (Figura 16). Logo após eles foram armazenados em sacos plásticos, vedados e transportados para o Laboratório de Usinagem do Centro de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Paraná, onde se procedeu à retirada de corpos-de-prova para as análises anatômicas, físicas e químicas, de acordo com esquema de distribuição presente na Figura 16.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 15. Esquema de retirada da segunda tora de três metros de comprimento, localizada entre três e seis metros de altura e os discos D_3 , a três metros e D_6 , a seis metros.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 16. Esquema de retirada das amostras nos discos, com indicação do posicionamento na tora, através da seta, indicação do disco (letra A) e das amostras para as análises anatômicas (A_0 , A_3 , A_6 , A_1), físicas (F_0 , F_3 , F_6 , F_1) e químicas (Q_0 , Q_3 , Q_6 , Q_1) nas posições 0, 33, 66 e 100%, respectivamente.

As toras foram imediatamente encaminhadas para a Araupel S.A., antiga Cascol Indústria Madeireira, localizada no distrito industrial de Telêmaco Borba/PR, onde foram coletadas as dimensões dos diâmetros sem casca e de cerne e as espessuras da casca, em quatro pontos nas duas extremidades, utilizando retas ortogonais. A partir desses dados foram calculados os volumes pela equação de Smalian (Equação 1), o índice de achatamento (Equação 2), a conicidade (Equação 3) e as proporções de cerne/alburno e de casca das toras. A seguir, os topos das toras foram pintados com três cores diferentes para definir regiões distintas, sendo uma central (C), uma intermediária (I) e uma externa (E). Cada uma dessas regiões representava um terço do raio (Figura 17).

$$V_t = \frac{\pi * \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right)^2 + \pi * \left(\frac{D_3 + D_4}{2} \right)^2}{80.000} * L_t \quad (1)$$

$$Am = \frac{A_{3m} + A_{6m}}{2} = \frac{\left(\frac{D_1}{D_2} * 100\right) + \left(\frac{D_3}{D_4} * 100\right)}{2} \quad (2)$$

$$C = \frac{\left(\frac{D_1 + D_2}{2}\right) - \left(\frac{D_3 + D_4}{2}\right)}{L_t * 100} * 100 \quad (3)$$

Sendo:

V_t = volume da tora, em m³;

A_m = achatamento médio, em %;

A_{3m} = achatamento da tora na ponta de maior diâmetro, em %;

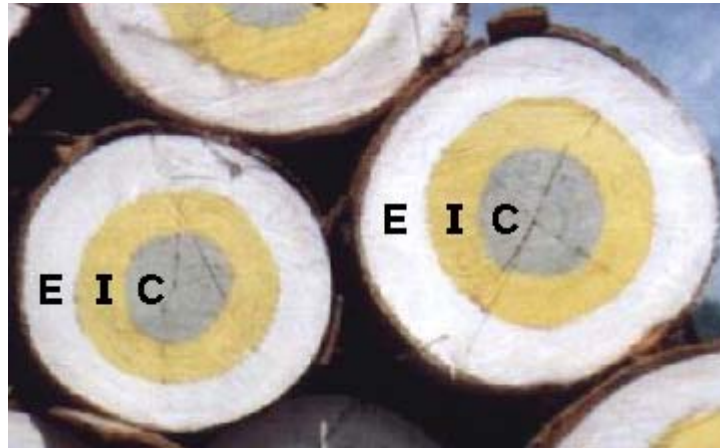
A_{6m} = achatamento da tora na ponta de menor diâmetro, em %;

C = conicidade, em %;

D_1 e D_2 = diâmetros da tora na ponta de maior diâmetro, em cm;

D_3 e D_4 = diâmetros da tora na ponta de menor diâmetro, em cm;

L_t = comprimento da tora, em m.

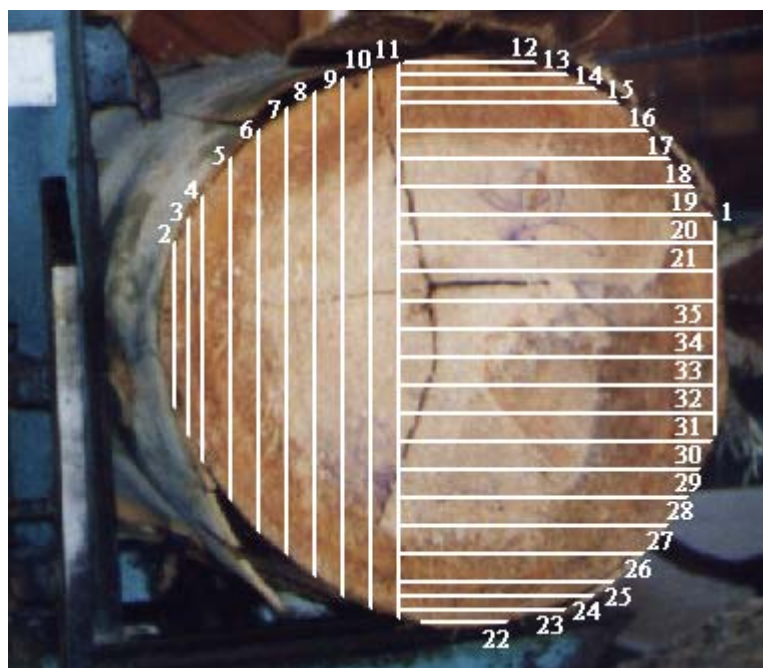


Fonte: Pesquisa de campo

Figura 17. Esquema de separação das três regiões nas toras, sendo E = externa; I = intermediária e C = central.

Segundo indicação de Silva e Wenzel (1995) em um período máximo de vinte e quatro horas após o abate, as toras foram desdobradas em uma serra-

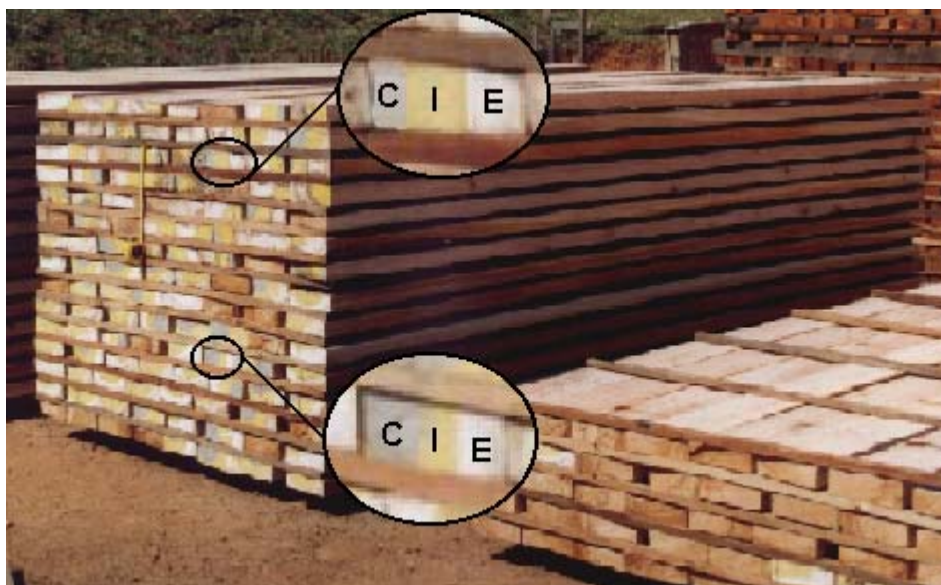
fita simples. O sistema de desdobro utilizado foi de cortes paralelos até próximo a medula, giro em 90°, novamente cortes paralelos até próximo a medula, giro de 180° e cortes até o final (Figura 18). Posteriormente as pranchas foram refiladas numa serra circular múltipla.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 18. Esquema de desdobro utilizado na serra de fita. Os números representam a seqüência dos cortes realizados

As tábuas obtidas foram identificadas por árvore e região, tomadas as suas dimensões e depois entabicadas, respeitando-se as técnicas de empilhamento (Figura 19). O processamento da secagem foi executado em duas fases distintas. A primeira fase compreendeu uma pré-secagem ao ar livre, por um período de trinta e cinco dias. Já a segunda fase utilizou-se um programa de secagem em estufa convencional (Quadro 17) estabelecido pela mesma empresa acima citada, obtendo-se uma umidade média final de 12%. Após essa etapa, as dimensões das tábuas foram coletadas novamente. De posse desses dados, foram calculados os rendimentos de desdobro em madeira verde e seca.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 19. Tábuas identificadas por região e empilhadas para a secagem

Quadro 17. Programa de secagem utilizado para madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.

Umidade / Fase	TBS (°c)	TBU (°c)	U R (%)	UEM (%)	Gradiente de secagem	Banho	
						Sim	Não
Aquecimento	45	43	90	18,0	---	1	---
> 70	48	45	85	16,0	1,8	1	---
70-60	50	47	85	16,0	1,8	1	---
60-50	50	46	80	14,0	2,1	1	---
50-40	52	47	75	13,0	2,3	1	---
40-30	55	49	70	11,0	2,7	1	---
30-25	57	48	60	9,0	2,7	---	0
25-20	60	49	55	8,0	2,5	1	---
20-15	60	48	50	7,5	2,0	1	---
15-10	65	49	40	6,0	1,6	1	---
10-09	65	47	35	5,5	1,6	1	---
Acondicionamento	60	52	65	10,0	1,0	1	---
Resfriamento	40	32	55	9,0	1,0	---	0

Fonte: Araupel S.A., antiga Cascol Indústria Madeireira.

TBS = temperatura de bulbo seco; TBU = temperatura de bulbo úmido; UR = umidade relativa interna; UEM = umidade de equilíbrio da madeira.

As tábuas secas foram embaladas e transportadas para o Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário (SENAI – CETMAM), localizado em São José dos Pinhais/PR. Esse material foi novamente entabicado sobre

“pallets” para ocorrer à estabilização da umidade com o novo ambiente, permanecendo assim por um período de trinta dias.

A partir desse ponto, a obtenção dos corpos-de-prova para as todas análises, operações de usinagem e testes de aderência do verniz seguiu caminhos diferenciados e serão tratados isoladamente.

3.3. ANÁLISES ANATÔMICAS

Os doze discos foram processados no Laboratório de Usinagem, utilizando serra fita e obtendo doze baguetas de 3 cm de largura e comprimento igual ao raio, isto é, partiu-se da medula até atingir a casca. Em cada uma das baguetas executou-se cortes tangenciais sistemáticos, para obter dois grupos de amostras A_0 , A_3 , A_6 e A_1 (Figura 16), localizadas a 0, 33, 66 e 100% do raio, respectivamente. O primeiro grupo com dimensão de 3,0 x 3,0 x 4,0 cm foi armazenado em álcool etílico comercial (96,4%) e foi utilizado para obtenção dos cortes histológicos. O segundo grupo de 0,5 x 0,5 x 4,0 cm foram transformados em finos palitos. Neste momento, baseando-se no posicionamento guardado pela seta (Figura 16) misturou-se as porções equivalentes, dos discos a três e a seis metros de altura, dentro de cada árvore. A mistura foi armazenada em tubos de ensaio para execução do macerado.

3.3.1. Preparação das lâminas histológicas permanentes

As amostras de 3,0 x 3,0 x 4,0 cm anteriormente armazenadas em álcool foram cozidas em água destilada por aproximadamente 3 horas. Logo após foram cortadas nos planos transversal e longitudinais radial e tangencial, utilizando-se um micrótomo de deslize. Executou-se 10 cortes por plano, com uma espessura de aproximadamente 20 μm . Todos os cortes foram corados em tripla coloração com acridina/crisoidina vermelha a 0,5% e azul de astra 1%. A seguir executou-se a desidratação numa série alcoólica (álcool etílico a 30,

50, 70, 90 e 100%) e posteriormente numa seqüência acetato de butila/álcool etílico, ambos 100% nas proporções 1:3, 1:1, 3:1. Após a desidratação os cortes foram mantidos em acetato de butila P.A. (100%) e iniciou-se a montagem das lâminas com adesivo de entelan. Foram confeccionadas três lâminas por posição, disco e árvore, totalizando 144 lâminas. Cada lâmina apresentava os três diferentes planos da madeira.

A partir das lâminas obtidas, baseando-se no Iawa Committee (1989) executou-se o estudo microscópico das estruturas anatômicas, através das informações qualitativas e quantitativas dos principais elementos, sendo coletados o número e o percentual da ocupação de vasos no plano transversal, o diâmetro tangencial dos vasos, o número de raios por milímetro, a altura e largura total dos raios no plano tangencial, a altura e largura média das células do raio e os percentuais da composição no tecido da madeira por tipo de constituinte, a saber: as fibras, os vasos, os parênquimas radiais e os parênquimas axiais.

3.3.2. Maceração

As amostras palitadas e armazenadas nos tubos de ensaio foram maceradas através do método de Jeffrey, utilizando solução aquosa de ácido nítrico e de ácido crômico, ambos a 10%, na proporção 1:1. Periodicamente, executava-se um controle do material e agitavam-se os tubos de ensaio para permitir a ação dos reagentes e para observar a presença de fibras dissociadas, fator que definiu a interrupção das reações. Após a dissociação das fibras, a mistura foi filtrada em solução de álcool etílico (95%) até que as mesmas ficassem isoladas e de coloração clara. A seguir executou-se a coloração com safranina (1,0%), por aproximadamente 4 horas, lavando-se o excesso de corante. As fibras isoladas e coradas foram armazenadas em solução de álcool etílico (95%). Foram confeccionadas 3 lâminas temporárias por posição e árvore, totalizando 72 lâminas. Em cada lâmina foram selecionadas, aleatoriamente, 10 fibras inteiras, medindo-se o comprimento total e os diâmetros externo e interno das mesmas fibras. A seguir foram

calculados as espessuras das paredes, as frações parede e os índices de esbeltez, conforme Equações 4, 5 e 6, respectivamente.

$$EP = \frac{D_{Ext} - D_{Int}}{2} \quad (4)$$

$$FP = \frac{(D_{Ext} - D_{Int})}{D_{Ext}} \quad (5)$$

$$IE = \frac{C}{D_{Ext}} \quad (6)$$

sendo:

EP = espessura da parede, em μm ;

FP = fração parede, adimensional;

IE = índice de esbeltez, adimensional;

C = comprimento da fibra, em μm ;

D_{Ext} = diâmetro externo ou largura da fibra, em μm ;

D_{Int} = diâmetro interno ou lume da fibra, em μm .

No Quadro 18 encontram-se listados detalhes dos pontos de coleta dos dados anatômicos para as seis árvores amostradas.

3.3.3. Ângulo da grã

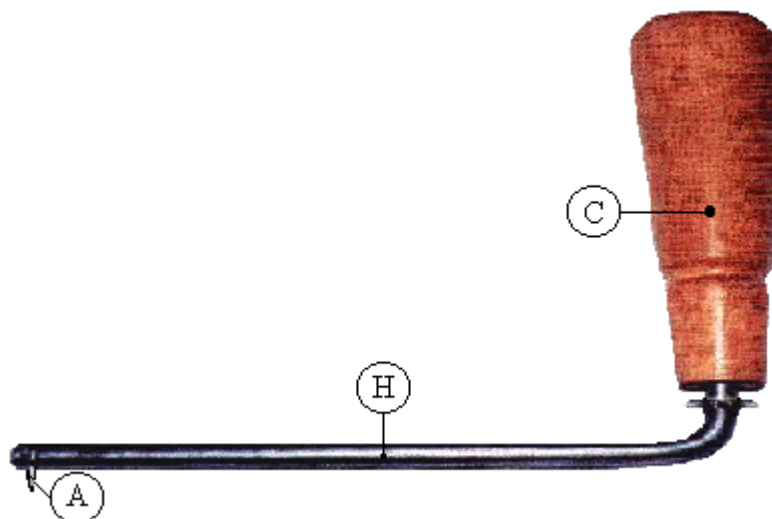
Nota-se a ausência da característica ângulo da grã no Quadro 18. Este fato é porque que esse parâmetro apesar de ser uma característica anatômica ele não pode ser obtido a partir das lâminas histológicas e tão pouco do material macerado. Este ângulo foi medido nos corpos-de-prova usados nos testes de usinagem, extraídos das tábuas retiradas nas regiões central, intermediária e externa. O número de repetições foi variado em função do volume de madeira, que resultou em um diferente número de peças em cada região. As medições do ângulo da grã foram feitas baseados nos trabalhos de Iwakiri (1982). Para tanto, utilizou-se o instrumento riscador, Lima (1999), que se encontra ilustrado na Figura 20. Observa-se que este riscador foi

confeccionado a partir de uma haste de aço de 6,0 mm de diâmetro e 250 mm de comprimento. Esta haste foi curvada, em 90°, a 140 mm de uma das extremidades. Foi executado um furo a 10 mm desta mesma extremidade, onde fixou-se uma agulha de gramofone. Na outra extremidade, foi introduzido um cabo de madeira de 95 mm de comprimento e 20 mm de diâmetro, com movimento pivotante em relação à haste de aço.

Quadro 18. Indicação do instrumento de medição, número repetições, por ponto e total dos dados anatômicos para cada árvore, altura e posição.

Parâmetro	Unidade	Local de medição	Nº de repetições	
			Por ponto	Total
Comprimento da fibra	µm	Macerado	30	120
Diâmetro externo da fibra	µm	Macerado	30	120
Diâmetro interno da fibra	µm	Macerado	30	120
Espessura de parede da fibra	µm	Macerado	30	120
Fração parede da fibra	ad	Macerado	30	120
Índice de esbeltez da fibra	ad	Macerado	30	120
Número de vasos/mm ²	nº/mm ²	Plano transversal	10	40
Área de ocupação dos vasos	%	Plano transversal	10	40
Diâmetro tangencial dos vasos	µm	Plano transversal	30	120
Número de raios por mm	nº	Plano tangencial	4	32
Altura total dos raios	µm	Plano tangencial	15	60
Altura média por célula de raio	µm	Plano tangencial	15	60
Largura total dos raios	µm	Plano tangencial	15	60
Largura média por célula de raio	µm	Plano tangencial	15	60
Percentual de fibras	%	Plano transversal	3	24
Percentual de vasos	%	Plano transversal	3	24
Percentual de parênquima radial	%	Plano transversal	3	24
Percentual de parênquima axial	%	Plano transversal	3	24

Os dados de ângulo da grã foram obtidos através do arco tangente obtido entre uma linha central paralela a aresta da peça e o risco executado pela agulha cravada na extremidade desta linha, que percorreu o sentido de esforço manual, isto é, linha de acompanhamento da grã.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 20. Riscador usado para medição do ângulo da grã, sendo A = agulha de gramofone; H = haste em aço; C = cabo de madeira com movimento pivotante.

3.4. ANÁLISES FÍSICAS

Semelhantemente à análise anatômica, os doze discos foram processados, obtendo-se doze outras baguetas com a mesma dimensão, que depois de processadas, em serra circular de carrinho, produziram corpos-de-prova F_0 , F_3 , F_6 , F_1 (Figura 16), devidamente orientados nas três direções fundamentais radial, tangencial e axial. Esses corpos-de-prova, dispostos axialmente em número de dois por posição e altura, possuíam as dimensões aproximadas de 2,5 x 2,5 x 3,0 cm, sendo a última na direção axial. Eles se localizavam também a 0; 33; 66 e 100% do raio. Os corpos-de-prova foram identificados, marcando-se o centro das faces radiais e tangenciais e colocados em água destilada para evitar a secagem até iniciar as medições, cujo tempo não ultrapassou 12 horas. Em seguida eles foram medidos com uso de um micrômetro digital sobre as marcações centrais radial e tangencial (Figura 21) e pesados em uma balança de sensibilidade (0,01 g). Além disto, foram medidos também os volumes através do método da massa deslocada por imersão em mercúrio, tendo-se o cuidado de coletar as temperaturas atuais do mercúrio para efetuar a devida correção na sua massa específica.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 21. Esquema da medição das contrações radiais e tangenciais

Após a medição na condição saturada ou verde, os corpos-de-prova foram colocados em estufa de circulação forçada e com temperatura de 103 ± 2 °c, até atingirem massa constante. Neste ponto, foram executadas novas medições da massa, das dimensões radial e tangencial no mesmo ponto da leitura anterior e do volume, também através da imersão em mercúrio, agora na condição anidra.

De posse dos dados executou-se os cálculos das contrações radiais, tangenciais e volumétricas, do coeficiente de anisotropia e da massa específica básica.

3.5. ANÁLISES QUÍMICAS

Semelhantemente às análises anteriores, os doze discos foram processados, obtendo-se agora doze baguetas com largura de 4,0 cm e comprimento igual ao raio. Em cada uma das baguetas executou-se cortes tangenciais sistemáticos, para obter corpos-de-prova Q_0 , Q_3 , Q_6 e Q_1 (Figura 16) com dimensões de 4,0 x 4,0 x 8,0 cm localizados a 0, 33, 66 e 100% do raio, respectivamente. Esses corpos-de-prova foram posteriormente

processados manualmente com uso de um formão obtendo-se partículas “strands” e colocadas para secagem ao ar livre. Após acondicionamento foram moídas num moinho de martelo. Neste momento, baseando-se no posicionamento guardado pela seta (Figura 16) misturou-se as porções equivalentes, dos discos a três e a seis metros de altura, dentro de cada árvore. A seguir, essas novas amostras foram moídas num moinho laboratorial tipo Wiley, obtendo-se serragem que foi posteriormente selecionada por peneiras. Para as análises químicas utilizou-se apenas a serragem que passou pela peneira de malha 40 mesh e ficou retida na malha 60 mesh. As análises foram executadas baseadas nas normas técnicas ABNT (1998) e TAPPI (1994), descritas no Quadro 19.

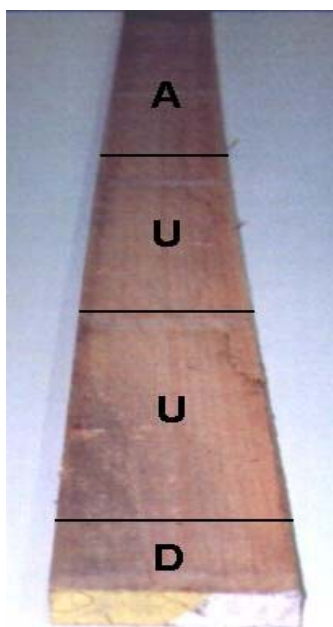
Quadro 19. Relação das normas utilizadas para as análises químicas.

Análises	Norma
Solubilidade da madeira em água quente	T207 om-93
Solubilidade da madeira em água fria	T207 om-93
Solubilidade da madeira em álcool tolueno	T204 om-88
Teor de extrativos totais	T264 om-88
Solubilidade da madeira em NaOH (1%)	T212 om-93
Teor de lignina	T222 om-88
Teor de cinzas	T211 om-93

3.6. TESTES DE USINAGEM

No Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário SENAI – CETMAM, em São José dos Pinhais/PR, a partir das tábuas obtidas do desdobro e secagem, foram executados três cortes transversais para obter um descarte no topo de 200 mm e duas peças de 800 mm de comprimento (Figura 22), evitando-se a presença de nós e rachaduras. O material restante foi reservado para os testes de acabamento. As duas peças de 800 mm foram desempenadas e desengrossadas nas faces e nos cantos, obtendo-se vinte corpos-de-prova por árvore, com dimensões de 800 x 185 x 25 mm. Foram

observadas e registradas as regiões em que cada peça possuía em função da ocupação inicial dentro da tora, indicadas pelas cores nos topos de cada tábuas. A seguir esses corpos-de-prova foram novamente entabicados sobre “pallets” e transportados para as salas de máquinas onde permaneceram por mais trinta dias, permitindo alcançar o equilíbrio higroscópico com o ambiente onde os testes foram executados (Figura 23). Paralelamente, foram adquiridos, no mercado local, cinco peças de imbuia e cinco de mogno que serviram como comparação para os testes de usinagem.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 22. Esquema de retirada dos corpos-de-prova para o teste de usinagem, sendo D = descarte; U = amostra de 800 mm para os testes de usinagem; A = sobra para os testes de acabamento.

Baseando-se na norma ASTM D1666-87 (revisada em 1994) foram adaptados e executados os testes de usinagem, englobando as operações de desempenho, desengrosso, moldura axial “parada”, moldura no topo, perfilagem axial sinuosa com faca plana, rasgo na furadeira horizontal, fresagem axial e transversal na tupa superior e furação para cavilha e para dobradiça (Figura 24). Cabe salientar que os desempenos e desengrossos

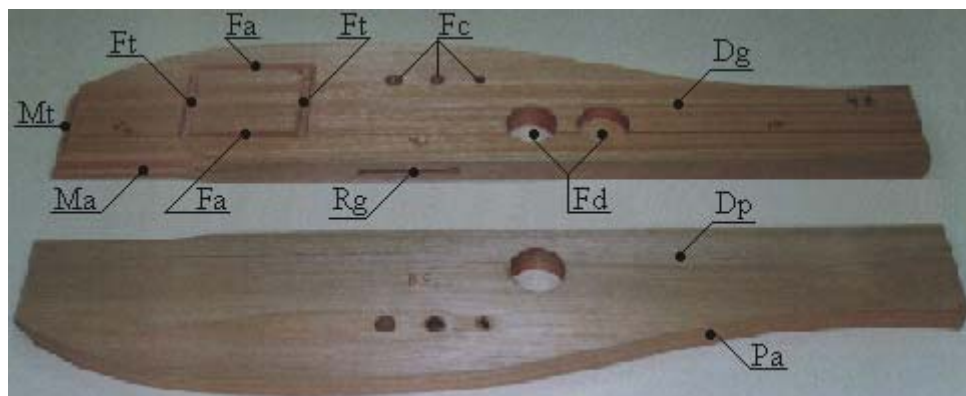
mencionados anteriormente não serviram como resultados dos testes e apenas representaram fases de preparo das peças.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 23. Corpos-de-prova para os testes de usinagem, entabecados sobre pallets nas salas de máquinas do SENAI/CETMAM.

Para evitar grandes variações causadas pela ação do operador foram executados testes preliminares antes de cada operação. Esta ação objetivou estabelecer velocidades de avanço semelhante em todas as peças. Para a confirmação dessa similaridade, foram cronometrados os tempos durante os deslocamentos de cada operação de usinagem, por peça. Posteriormente, foram verificadas as rotações dos eixos através de uma lâmpada estroboscópica, registrado o número de gumes e medido os diâmetros das ferramentas.



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 24. Corpo-de-prova das operações de usinagem, sendo Dg= desengrosso; Dp= desempenho; Fa= fresagem axial; Fc= furação para cavilha; Fd= furação para dobradiça; Ft= fresagem transversal; Ma= moldura axial “parada”; Mt= moldura no topo; Pa= perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg= rasgo na furadeira horizontal.

No Quadro 20 podem ser observados esses parâmetros de usinagem e também as respectivas velocidades de corte, calculadas através da Equação 7.

Quadro 20. Parâmetros utilizados na execução dos testes de usinagem, por operação.

Operação	Z (n°)	n (min ⁻¹)	D (mm)	V _c (m/s)
Desempeno	4	3345	120	21,0
Desengrosso	4	3280	120	20,6
Moldura axial “parada”	2	9000	110	51,6
Moldura no topo	2	6000	110	34,4
Perfilagem axial sinuosa	2	9000	85	40,0
Rasgo	2	3380	8	1,4
Fresagem	1	18000	8	7,5
Furação cavilha (face)	2	2776	6; 8; 10	0,9; 1,2; 1,5
Furação dobradiça	2	2776	35	5,1

FONTE: Pesquisa de campo

Z = número de gumes da ferramenta de corte; n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta; D = diâmetro da ferramenta

$$V_c = \frac{\pi * D * n}{60.000} \quad (7)$$

sendo:

V_c = velocidade de corte, em m/s;

D = diâmetro da ferramenta, em mm;

n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta, em min^{-1} .

A partir dos tempos cronometrados, dos deslocamentos de usinagem (da peça ou da ferramenta) por operação e dos dados do Quadro 20 foram calculados os valores médios das velocidades de avanço e do avanço por dente, através das equações 8 e 9, respectivamente.

$$V_f = \frac{Du}{t} \quad (8)$$

$$f_z = \frac{V_f * 1000}{n * z} \quad (9)$$

sendo:

V_f = velocidade de avanço da peça, em m/min;

f_z = avanço por dente, em mm;

Du = deslocamento de usinagem, em m;

t = tempo necessário para executar o deslocamento de usinagem, em min;

n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta, em min^{-1} ;

z = número de gumes ativos da ferramenta (adimensional);

Para evitar a influência do desgaste dos gumes das ferramentas na qualidade das usinagens, os cento e vinte corpos-de-prova de usinagem foram sorteados antes de cada operação. Além disto foram usados novos jogos de ferramentas a cada quarenta peças usinadas, exceto para as operações de desempenho e desengrosso onde foi utilizado apenas um jogo de facas.

As peças foram entabicadas entre a execução de um teste e outro, evitando o contato direto entre as mesmas. No final, elas foram embaladas uma a uma e transportadas para a câmara climática do Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR.

Através da revisão bibliográfica, pôde-se notar a grande dificuldade em se medir, de maneira confiável, o estado da superfície usinada em madeira. Então, utilizou-se notas de apreciação da superfície com critérios cuidadosamente determinados, mas que mantiveram caráter relativamente subjetivo.

A sistemática da avaliação da qualidade foi através de notas de três avaliadores isolados e das combinações destes anteriores, dois a dois, totalizando seis avaliações. As notas foram atribuídas separadamente para cada peça tendo o cuidado de observar em qual região (central, intermediária ou externa) foi executada a operação, isto é, cada peça pôde receber de uma a três notas, de valores iguais ou diferentes, conforme a presença das diferentes regiões amostradas.

Os defeitos normalmente observados foram o lasqueamento, o arrancamento de fibras com formações de depressões e o arrepiamento (presença de fibras inteiras ou de pedaços destas). Esses defeitos foram quantificados em função da necessidade de posterior retrabalho para obter uma ótima qualidade, que variou de operação para operação.

3.6.1. Desempeno e desengrosso

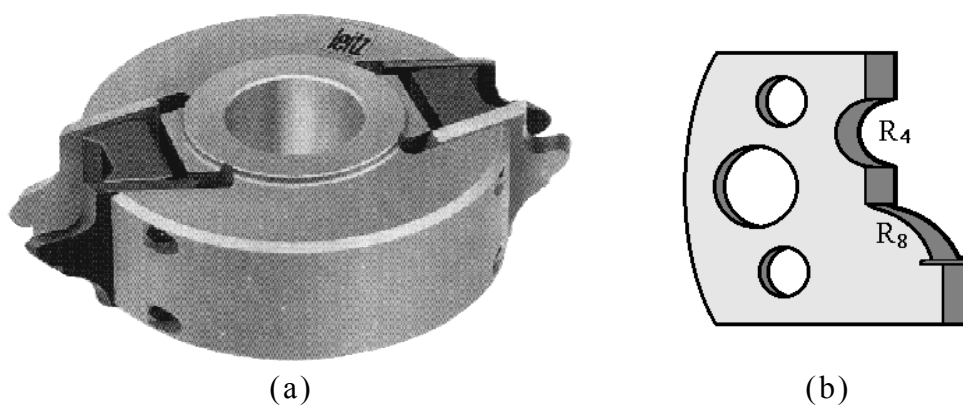
As operações de desempenho e desengrosso foram executadas em plainas desempenadeira e desengrossadeira, respectivamente, segundo parâmetros de usinagem listados no Quadro 20. Em relação à numeração existente, foi definido, aleatoriamente, que a face inferior corresponderia ao desempenho e a face superior ao desengrosso. Foram atribuídas notas de um a cinco, em função da rugosidade da superfície aplainada, sendo:

- nota 1 – superfície isenta de quaisquer defeitos;
- nota 2 – presença de arrepiamento leve a médio;
- nota 3 – presença de arrepiamento forte e arrancamento leve;
- nota 4 – presença de arrepiamento forte e arrancamento leve a médio;
- nota 5 – presença de arrancamento forte, independente da presença de arrepiamento.

3.6.2. Moldura axial “parada”

Utilizando-se de uma tupia equipada com cabeçote e facas perfiladas – perfis standard LEN-Perfil 24, marca Leitz (Figura 25), foram executadas molduras ao longo da grã, conforme parâmetros de usinagem listados no Quadro 20. A seguir, foram atribuídas notas de um a sete, em função da presença dos defeitos definidos e do perfil (desenho) obtido, sendo:

- nota 1 – moldura isenta de quaisquer defeitos e perfil completo;
- nota 2 – presença de arrepiamento leve e perfil completo;
- nota 3 – presença de arrepiamento médio e perfil completo;
- nota 4 – presença de arrepiamento médio e perfil incompleto (com falhas);
- nota 5 – presença de arrepiamento forte, arrancamento leve e perfil incompleto;
- nota 6 – presença de arrepiamento forte, arrancamento médio e perfil incompleto;
- nota 7 – presença de arrancamento forte e perfil incompleto.



Fonte: Leitz (2001).

Figura 25. Cabeçote (a) e faca perfilada, modelo LEN - perfil 24 (b) utilizados nas operações de moldura axial “parada” e de moldura no topo.

3.6.3. Moldura no topo

Para a operação em questão foi utilizada a mesma máquina e o mesmo tipo de faca perfilada (Figura 25) do item 3.6.2., tendo o cuidado apenas de trocar o jogo de ferramentas. Foram confeccionadas molduras transversalmente à grã, conforme parâmetros de usinagem listados no Quadro 20. Foram atribuídas notas de um a cinco, em função da presença dos lasqueamentos, arrancamentos de fibras, depressões e arrepiamentos, principalmente localizados na junção com a moldura axial “parada”, sendo:

- nota 1 – moldura isenta de quaisquer defeitos;
- nota 2 – presença de arrepiamento leve na intercessão com as faces da peça;
- nota 3 – presença de arrepiamento forte na intercessão com as faces da peça;
- nota 4 – presença de lasqueamento na junção das molduras;
- nota 5 – presença de arrancamento de fibras (fortes depressões);

3.6.4. Perfilagem axial sinuosa com faca plana

Ainda na mesma tupia utilizada nos itens 3.6.2. e 3.6.3., com uso de outro cabeçote universal e facas planas, marca Leitz, baseado nos parâmetros de usinagem descritos no Quadro 20, executou-se a perfilagem ao longo das fibras de forma sinuosa no canto oposto a moldura axial “parada”. Foram atribuídas notas de um a seis, em função da presença de lasqueamentos, arrancamentos de fibras, depressões e arrepiamentos, apenas na porção usinada da curva ascendente, contra as fibras.

- nota 1 – superfície isenta de quaisquer defeitos;
- nota 2 – presença de arrepiamento leve;
- nota 3 – presença de arrepiamento médio;
- nota 4 – presença de arrepiamento forte;
- nota 5 – presença de arrepiamento médio a forte e arrancamento leve de fibras (depressões);

nota 6 – presença de arrepiamento e arrancamento fortes e de lasqueamento

3.6.5. Rasgo na furadeira horizontal

A partir dos parâmetros de usinagem presentes no Quadro 20 e usando uma furadeira horizontal de movimentos manuais, foram executados rasgos (Figura 26) no mesmo canto da moldura axial “parada”. A seguir foram atribuídas notas de um a cinco, em função do levantamento de fibras presente nas superfícies do rasgo.

nota 1 – ausência de levantamento de fibras em qualquer das quatro bordas e no fundo;

nota 2 – presença de levantamento leve em uma ou duas faces quaisquer;

nota 3 – presença de levantamento forte em uma face e leve em outra;

nota 4 – presença de levantamento forte em duas a quatro faces quaisquer e fundo isento de levantamentos;

nota 5 – presença de levantamento forte nas quatro faces e no fundo;

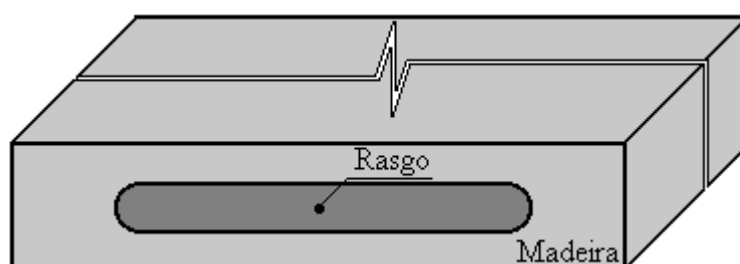


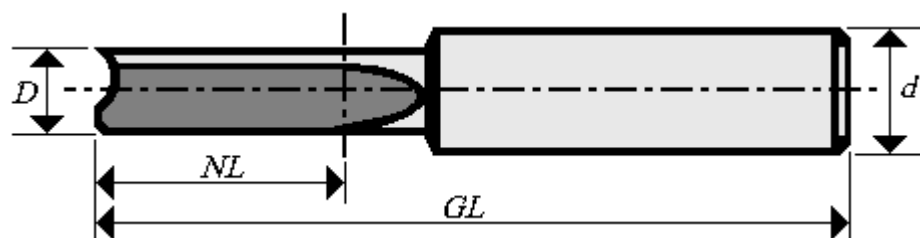
Figura 26. Aspecto ilustrativo da operação de rasgo no canto, executado em uma furadeira horizontal.

3.6.6. Fresagens axial e transversal na tupa superior

O desenho escolhido para a fresagem foi um retângulo, originando dois canais axiais e dois transversais. Estas operações foram executadas em uma

tupia superior, sendo os parâmetros de usinagem descritos no Quadro 20. A ferramenta utilizada foi uma fresa para mandril com comprimento e diâmetro de corte de 22 e 8 mm, respectivamente (Figura 27). Depois, foram atribuídas notas de um a cinco, analisando as oito arestas ao longo do canal separadamente em função da presença de lasqueamentos, arrancamentos de fibras, depressões e arrepiamentos.

- nota 1 – ausência de quaisquer defeitos em qualquer das oito arestas de corte;
- nota 2 – presença de levantamento leve de fibras em pequenas porções em uma a duas arestas de corte;
- nota 3 – presença de levantamento leve de fibras ao longo de duas a quatro arestas de corte;
- nota 4 – presença de levantamento forte de fibras ao longo de quatro a seis arestas de corte;
- nota 5 – presença de lasqueamento em qualquer aresta axial;



FONTE: Adaptação de Leitz (2001).

Figura 27. Fresa utilizada na operação de fresagem axial e transversal na tupia superior, sendo NL = comprimento de corte; GL = comprimento total; D = diâmetro de corte; d = diâmetro da haste.

3.6.7. Furação para cavilhas

Para a operação em questão foi utilizada uma furadeira vertical de coluna equipada com brocas calçadas por metal duro de canais helicoidais e diâmetros de 6, 8 e 10 mm. Foram realizados três furos passantes conforme

parâmetros de usinagem listados no Quadro 20. A seguir foram atribuídas notas de um a cinco, analisando as faces de entradas da broca nos três furos.

- nota 1 – ausência de quaisquer defeitos e arestas com contorno perfeito em qualquer dos três furos;
- nota 2 – presença de levantamento leve de fibras em apenas um dos furos;
- nota 3 – presença de levantamento leve de fibras em dois furos;
- nota 4 – presença de levantamento leve de fibras nos três furos;
- nota 5 – presença de levantamento forte nos três furos ou lasqueamento em apenas um furo;

3.6.8. Furação para dobradiça

Utilizou-se a mesma furadeira vertical do item 3.6.7, mas equipada com broca tipo copo, calçadas com metal duro. Foram confeccionados dois furos, sendo um passante e outro não passante, conforme parâmetros de usinagem descritos no Quadro 20. A qualificação desta operação foi diferente das anteriores, pois após observação, no furo passante, da face de saída da broca, notou-se a presença de arrancamentos diferenciados de fibras. Então foram medidos, na direção axial, os comprimentos máximos desses arrancamentos (Figura 28). Foram atribuídos pesos de 1, se leve; 2, se médio ou 3, se forte, para os fatores isolados, de área ocupada, de volume total e de profundidade máxima, relativos ao arrancamento das fibras. Cada peça recebeu, portanto, três pesos, podendo ser iguais ou diferentes. A atribuição dos pesos se procedeu em função da dificuldade de medição dos fatores. Finalmente, foram calculados os índices de arrancamentos, em milímetros, ponderando em relação aos pesos obtidos, conforme Equação 10.

$$I_a = \frac{C * (P_a + P_v + P_p)}{9} \quad (10)$$

sendo:

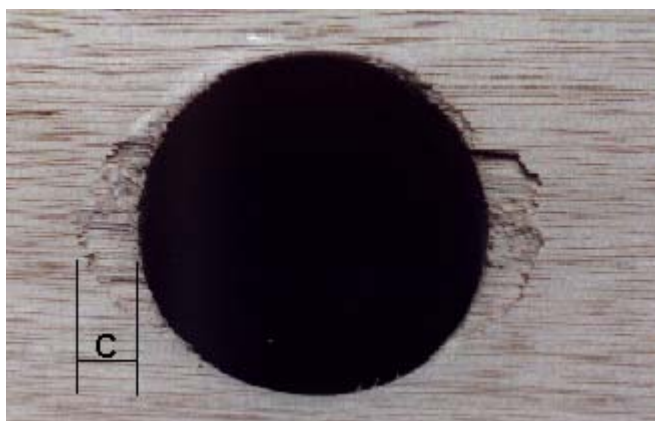
I_a = índice de arracamento das fibras, em mm;

C = comprimento máximo do arrancamento de fibras, em mm;

Pa = peso atribuído à área de arrancamento das fibras, adimensional;

Pv = peso atribuído ao volume de arrancamento das fibras, adimensional;

Pp = peso atribuído à profundidade do arrancamento das fibras, adimensional;



Fonte: Pesquisa de campo

Figura 28. Medição do arrancamento das fibras na operação de furo para dobradiça, onde c = comprimento máximo do arrancamento de fibras

3.7. TESTES DE ADERÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL

Na porção restante das tábuas utilizadas no testes de usinagem foram executados cortes transversais originando peças de 450 mm de comprimento, evitando-se a presença de nós e rachaduras. Essas peças foram desempenadas e desengrossadas nas faces e nos cantos, obtendo-se quinze corpos-de-prova por árvore, sendo cinco em cada região (externa, intermediária e central) com dimensões de 400 x 150 x 20 mm. A seguir, esses corpos-de-prova foram novamente entabicados sobre “pallets” e transportados para a sala de pinturas onde permaneceram por trinta dias para alcançar o equilíbrio higroscópico com o ambiente onde foram executados os testes. Após esse período de estabilização as peças foram levadas à sala de lixamento onde foram

executadas as passagens numa lixadeira banda-larga, com lixas de grão 120, 180 e 220. Logo em seguida as peças foram novamente transportadas para a sala de pintura onde se procedeu às aplicações de duas demãos do fundo acabamento transparentes de base poliuretânica (FL806488-00 – Sayerlack), com gramatura média de 120 g/cm^2 . O intervalo entre demãos foi de aproximadamente 60 minutos. As peças foram colocadas na sala de secagem por um período de 24 horas e depois foram lixadas manualmente com lixas de grão 320 e logo em seguida, aplicou-se mais uma demão do mesmo produto. A seguir as peças foram colocadas na sala de secagem por um período de 72 horas, aguardando a secagem total. As peças foram embaladas uma a uma e transportadas para a câmara climática do Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR, onde foram entabicadas por um período de trinta dias.

Baseando-se na norma ABNT MB-985 de 1987, foram adaptados e executados os testes de aderência do verniz sobre a superfície de madeira através do destacamento na intersecção e ao longo das incisões cruzadas, na forma de um X (Figura 29). Para o destacamento foi utilizada uma fita de polipropileno código 750 da Adere Produtos Auto-adesivos Ltda. com $32,6 \text{ g/mm}$ de adesividade.



FONTE: Pesquisa de campo

Figura 29. Teste de aderência do verniz através do destacamento na intersecção e ao longo das incisões pelo método de incisões cruzadas, detalhe do material necessário.

3.8. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental utilizado seguiu o modelo inteiramente casualizado, considerando duas leituras por árvore e as diferentes árvores como repetições para cada característica anatômica, física e química e para os testes de usinagem e aderência do verniz, totalizando doze repetições em cada uma das três regiões.

Os resultados foram interpretados estatisticamente, por meio da análise de variância, sendo que a comparação entre os tratamentos foi executada através do teste F, a 5% de significância. Nas propriedades em que a hipótese nula foi rejeitada, as médias foram comparadas também a 5% de significância, pelo teste de Tukey (software “Statgraphics”).

Determinou-se, ainda, as correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e a aderência do verniz com as propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira. Essas correlações foram testadas pelo teste F, a 5% de significância e foram realizadas no software “Statistica”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. POTENCIAL DENDROMÉTRICO

No Quadro 21 encontra-se o resumo das características dendrométricas e outras de interesse quando se deseja utilizar a madeira serrada. Encontram-se também as médias das seis árvores utilizadas e os coeficientes de variação (CV%). Nota-se que os coeficientes de variação obtidos foram baixos para todas as características dendrométricas, indicando uma boa precisão experimental e demonstrando a pequena variabilidade intra-árvores, considerando a segunda tora, que representa o material de estudo deste trabalho.

Quadro 21. Características dendrométricas e de interesse ao processamento do material utilizado.

Parâmetro mensurado	Médias	CV%
Diâmetro na base da árvore (cm)	52,6	9,0
Diâmetro no DAP (cm)	50,6	7,3
Diâmetro a 3m de altura (cm)	46,6	2,9
Diâmetro a 6m de altura (cm)	44,4	3,3
Comprimento da tora (m)	3,0	0,0
Comprimento até 30 cm de diâmetro (m)	21,9	0,0
Comprimento até 8 cm de diâmetro (m)	48,8	3,0
Volume da tora de 3 m (m ³)	0,4881	5,3
Volume até 30cm de diâmetro (m ³)	3,3073	13,3
Volume até 8cm de diâmetro (m ³)	5,4801	19,3
Volume de tábuas verdes (m ³)	0,2870	13,5
Volume de tábuas secas a 12% (m ³)	0,2559	14,8
Rendimento após desdobro (%)	58,8	11,8
Rendimento após secagem (%)	52,4	13,0
Índice de achatamento (%) para a tora de 3 m	97,4	1,57
Conicidade para a tora de 3 m	0,75	25,3
Relação cerne/alburno para a tora de 3 m	3,2	11,7
Percentual de casca para a tora de 3 m	7,2	24,1

Segundo Sella (2001), maiores diâmetros, proporcionados por rotações mais longas beneficiam a qualidade, aumentam o rendimento no desdobro, produzem madeira mais estável pela maior proporção cerne/alburno e aumentam seu valor comercial, pois aumentam a proporção de madeira limpa de qualidade superior. As toras utilizadas neste trabalho fazem parte de povoamento de rotação longa, de 25 anos, e se encaixaram nesta descrição, pois seu diâmetro médio foi de 45 cm (Quadro 21). Estes resultados encontrados puderam explicar os altos rendimentos após o desdobro e após a secagem que, em média, foi de 58,8% e 52,4%, respectivamente. Pode-se observar também os bons resultados de achatamento (97,4%) e conicidade de (0,75), características que afetaram o rendimento do desdobro. Quanto ao fato do maior volume de madeira limpa, embora não tenha sido quantificada, observou-se que a presença de nós, principalmente de grandes dimensões, encontravam-se restrita a uma pequena porção central próximo à medula e esporadicamente observavam-se nós mais externos com dimensões reduzidas. Ainda no mesmo quadro estão apresentadas as relações cerne/alburno. Os valores médios encontrados de 3,2 também são considerados bons para o uso de madeira serrada. Este fato se deve ao processo de cernificação mais intenso em idades mais elevadas.

Embora não se tenha efetivos estudos do mercado consumidor, é notado que existe uma tendência à preferência da madeira do cerne, devido principalmente à sua coloração rosada, diferentemente da coloração bege do alburno. A coloração do cerne é que torna a madeira do eucalipto mais semelhante ao mogno.

A indicação dos comprimentos no Quadro 21 serviu para auxiliar a definição da utilização industrial das toras obtidas, adotando-se o princípio de uso múltiplo. Por exemplo, no processamento adotado, as árvores foram toradas de 5,3 m até atingir o diâmetro de 30 cm. Essas toras foram encaminhadas para a serraria, destinadas a produção de madeira serrada. A partir deste ponto, ocorreu a toragem de 2,4 m até atingir diâmetro mínimo de 8 cm, que foi destinado à fabricação de polpa celulósica. O restante da árvore foi destinado a produção de energia. Esse procedimento explica o valor encontrado, de 21,9 m, para o comprimento até o diâmetro de 30 cm. Ele

correspondeu a duas toras de três metros, conforme metodologia definida para este trabalho, acrescentado de mais três toras de 5,3 m. Dessa forma pode-se visualizar os rendimentos médios de utilização da madeira da árvore que foi de 58% para serraria, 37% para celulose e 5% para fins energéticos, desconsiderando o percentual de casca que normalmente seria utilizado para esse fim.

4.2. DESCRIÇÃO GERAL DAS CARACTERÍSTICAS DO LENHO

Semelhantemente à descrição proposta por Alfonso (1987), a madeira de *Eucalyptus grandis* utilizado neste trabalho possuía alburno e cerne distintos quanto a cor; alburno bege a levemente rosado, estreito, variando de 2,3 a 3,6 cm de espessura; cerne róseo-claro, quando seco e róseo-escuro quando úmido. Madeira de pouco brilho; grã entrecruzada; textura fina a média; macia ao corte; cheiro e gosto indistintos.

4.3. PROPRIEDADES ANATÔMICAS

Os resultados das análises anatômicas, a partir dos cortes histológicos e material macerado, demonstraram que a madeira de *Eucalyptus grandis* possui:

a) Parênquima axial: pouco abundante; paratraqueal vasicêntrico e escasso, com duas a quatro células de largura, formando confluências curtas e oblíquas; seriado com duas a seis células por série.

b) Poros/Vasos: notados a olho nu; seção ovalada a circular, predominantemente ovalada; distribuição difusa; exclusivamente solitários; disposição diagonal; com variação de 4-10-25 poros; diâmetro tangencial dos vasos com variação de 20-126-230 μm ; placa de perfuração simples.

c) Raios: visíveis apenas sob lente; homogêneos e raramente heterogêneos do Tipo 01 e 02; unisseriados, bi e eventualmente localmente trisseriados; com variação na largura de 3-15-33 μm ; com variação na altura

de 33-**205**-633 μm ; composto por 2-**11**-36 células de altura, com variação de 7-**12**-19 raios por mm; conteúdo presente.

d) Fibras: com variação no comprimento de 500-**1123**-1650 μm ; diâmetros com variação de 10-**19**-45 μm ; lume com 3-**10**-25 μm de largura; espessura de paredes com variação de 1-**4**-10 μm .

e) Camada de crescimento: demarcada por zonas fibrosas, caracterizadas por um maior espessamento das paredes das fibras.

O Quadro 22 apresenta as diferenças observadas entre as regiões central, intermediária e externa para as principais características anatômicas, comparadas com a descrição geral acima. Baseando-se nos resultados do trabalho de Ceccantini (1996), pode ser também observado que, para a maioria das características mensuradas, a região intermediária se assemelhou mais à região externa que central. Tal comportamento pode representar a tendência de transição da madeira juvenil para a adulta.

Quadro 22. Diferenças médias entre as principais características anatômicas para as regiões central, intermediária e externa e valores totais da variação medula-casca.

Características	Região			Geral
	Central	Intermediária	Externa	
Poros/vasos				
Número/ mm^2	4- 12 -25	4- 9 -15	4- 8 -15	4- 10 -25
Diâmetro (μm)	20- 111 -200	20- 134 -230	20- 140 -230	20- 126 -230
Raios				
Largura (μm)	8- 15 -33	8- 14 -25	3- 14 -30	3- 15 -33
Altura (μm)	33- 200 -600	33- 201 -520	50- 211 -633	33- 205 -633
Células/altura	2- 11 -36	2- 10 -29	2- 10 -29	2- 11 -36
Raios por mm	9- 12 -19	7- 12 -17	7- 12 -17	7- 12 -19
Fibras (μm)				
Comprimento	500- 1047 -1550	500- 1148 -1550	760- 1199 -1650	500- 1123 -1650
Diâmetro externo	10- 18 -33	10- 19 -33	10- 18 -45	10- 19 -45
Lume	5- 11 -25	3- 11 -25	3- 9 -25	3- 10 -25
Espessura da parede	1- 4 -9	1- 4 -10	1- 5 -10	1- 4 -10

4.3.1. Dimensões das fibras

Os resultados médios obtidos para a amostragem completa das características relacionadas às dimensões das fibras nas seis árvores e três regiões radiais e os seus respectivos coeficientes de variação encontram-se listados nos Anexos 1.1., 1.2, 1.3, 1.4., 1.5. e 1.6. No Quadro 23 pode-se observar a tendência de variação no sentido medula-casca das médias gerais para cada característica das fibras. Neste sentido, o comprimento das fibras mostra que as regiões intermediária e externa se apresentaram mais próximas entre si, afirmando a teoria de Ceccantini (1996) pela demonstração à tendência de formação da madeira adulta a partir da região intermediária, pois a maior semelhança indica uma possível estabilização desta característica.

Quadro 23. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as características relacionadas às dimensões das fibras.

Características das fibras	Média por região			CV (%) por região		
	Cent.	Inter.	Ext.	Cent.	Inter.	Ext.
Comprimento (μm)	1046,7	1147,6	1199,1	16,4	14,8	14,2
Diâmetro externo (μm)	18,4	19,1	18,7	23,5	22,6	23,6
Diâmetro interno (μm)	11,2	10,7	9,2	34,12	35,2	38,7
Espessura da parede (μm)	3,6	4,2	4,8	31,6	33,0	32,0
Fração parede (adimensional)	0,40	0,45	0,51	27,4	28,0	25,0
Índice de esbeltez (%)	59,6	63,3	67,5	25,1	27,4	27,7

Cent.; Inter. e Ext. representam as regiões central, intermediária e externa, respectivamente

A análise de variância, para a variável comprimento das fibras (Anexo 1.7) apresentou diferença significativa, a 5% de significância, considerando-se as regiões radiais, onde as fibras foram analisadas, ou seja, entre as regiões central, intermediária e externa. A comparação múltipla pode ser observada na Figura 30, sendo que se observa uma tendência de aumento dos comprimentos das fibras da medula para casca.

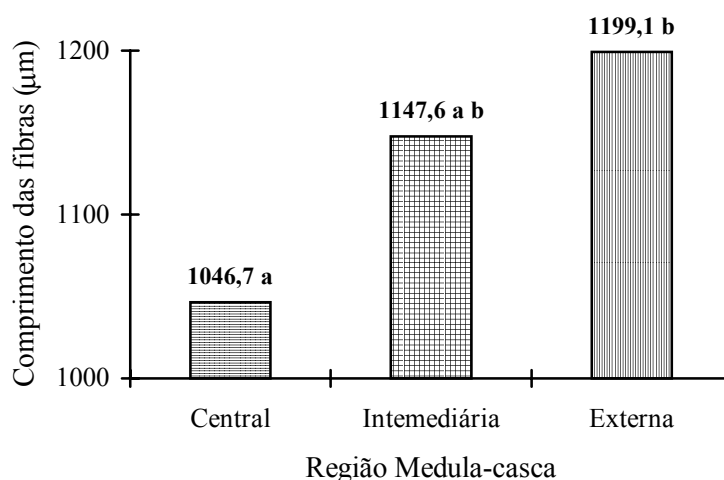


Figura 30. Distribuição e comparação múltipla das médias dos comprimentos das fibras, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Esses resultados, apresentados acima, estão em conformidade com Shimoyama (1990) que afirma que o gênero *Eucalyptus* possui comprimento de fibras próximo de 1000 μm e que tende a variar crescentemente da medula para a casca. A região central (0 a 33% do raio) registrou menor média geral, não diferindo estatisticamente da região intermediária (33 a 66% do raio), mas que diferiu da região externa, que corresponde a madeira presente na faixa de 66 a 100% do raio. Considerando os dados absolutos, podemos afirmar que os resultados encontram-se de acordo com Cruz (2000), Shimoyama (1990), Alfonso (1987) e Tomazello Filho (1985a). Segundo Carvalho (1997), a presença de madeira juvenil pode ser indicada através dos reduzidos valores dos comprimentos das fibras e podem representar alterações na qualidade da madeira.

Pelo Anexo 1.1, nota-se que a dispersão dos dados existentes para o comprimento das fibras nas diferentes regiões central foi superior às demais regiões, mostrando um coeficiente de variação médio de 16,4%.

Pela análise dos dados médios obtidos para os diâmetros externos das fibras (Anexo 1.2) observa-se que não existe um padrão de variação definido para essa característica nas diferentes regiões radiais. Este resultado foi

diferente daqueles encontrados por Cruz (2000), Shimoyama (1990) e Tomazello Filho (1985a e 1985b) que mostraram tendências de aumento da medula para a casca. Contudo os valores médios de 18 μm para as regiões central e externa e de 19 μm para a região intermediária e que em média geral das três regiões apresentou-se magnitude de 17,5 μm encontra-se em consonância com os trabalhos dos autores citados e corroborados com Alfonso (1987). Os coeficientes de variação encontrados para essa característica, em média, foi de 23%. Este valor pode ser considerado elevado se comparados a alguns trabalhos. Tal fato pode ser explicado pela característica do povoamento amostrado, que era oriundo de plantios de mudas via semente que induz a formação de indivíduos mais heterogêneos entre si.

No Anexo 1.7 encontra-se o resumo da análise de variância para os diâmetros externos das fibras. Pode-se notar que não existe diferença significativa entre as diferentes regiões, a 5% de significância.

Os resultados médios obtidos para o diâmetro interno ou lume das fibras e os seus respectivos coeficientes de variação nas três diferentes regiões encontram-se listados no Quadro 23. Pelo Anexo 1.3 observa-se uma tendência decrescente da medula para a casca, no material amostrado, considerando as posições radiais onde os lumes foram medidos. É certo esperar que a massa específica expresse um aumento da medula para a casca. Para ratificar esse aumento da massa específica é esperado um decréscimo da dimensão do lume. Desta forma, conforme encontrada neste trabalho, a tendência de variação ocorreu inversamente à variação da massa específica.

A variação total entre os dados foi semelhante, independentemente das regiões radiais e árvores amostradas, mostrando média do coeficiente de variação de 36%.

Pelo Anexo 1.7 verifica-se a existência de diferença significativa, a 5% de significância, para o diâmetro interno das fibras nas diferentes regiões radiais. A Figura 31 ilustra a magnitude da variação existente entre as regiões amostradas e a comparação múltipla entre as médias obtidas.

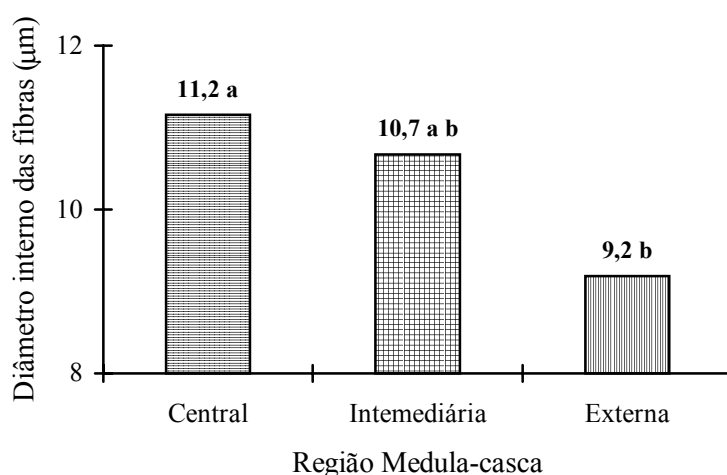


Figura 31. Distribuição e comparação múltipla das médias dos diâmetros internos ou lume das fibras, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os resultados médios para a espessura da parede das fibras encontram-se no Quadro 23. Pelo Anexo 1.4. observa-se uma variação crescente, de forma homogênea e linear, entre os valores médios da medula para a casca. Esses resultados estão em conformidade com Cruz (2000). Os valores mínimos e máximos encontrados de 1 e 10 μm , respectivamente, foram observados igualmente para as três regiões radiais.

Através da análise de variância (Anexo 1.7), notou-se uma diferença significativa entre as três regiões para a espessura da parede da fibra. Este fato foi comprovado pela comparação múltipla das médias, que encontra-se ilustrada na Figura 32.

A fração parede, que expressa o percentual ocupado pela parede da fibra dentro de sua largura total, apresentou uma variação crescente das médias no sentido da medula para a casca (Quadro 23). Este resultado encontra-se em conformidade com os de Shimoyama (1990). A dispersão geral dos dados no sentido radial não se mostra de forma definida para as diferentes regiões radiais. Contudo, os valores médios gerais dos coeficientes de variação foram próximos de 27% (Anexo 1.5). Através da análise de variância, observou-se uma diferença significativa para as regiões radiais

(Anexo 1.7). Pela comparação múltipla das médias (Figura 33) verificou-se que a região externa difere estatisticamente das demais, apresentando o mais alto valor (0,51).

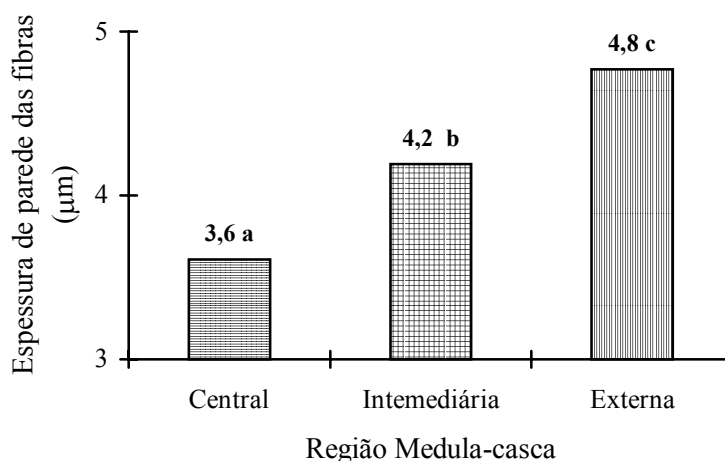


Figura 32. Distribuição e comparação múltipla das médias das espessuras de paredes das fibras, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

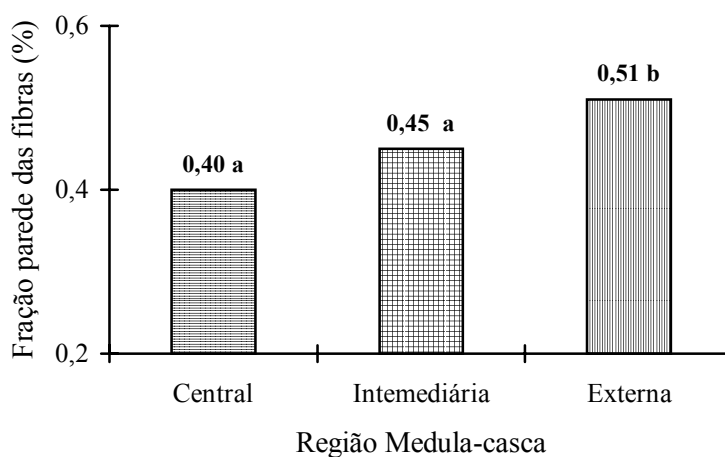


Figura 33. Distribuição e comparação múltipla das médias da fração parede (%), em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Semelhantemente a uma peça estrutural, que é tomando a relação entre a altura e a largura ou diâmetro (peças cilíndricas), o índice de esbeltez definido neste trabalho representa a relação entre o comprimento e o respectivo diâmetro externo da fibra isolada. A média geral dos resultados dessa característica apresentou variação crescente da medula para a casca (Quadro 23). No Anexo 1.6 encontra-se a dispersão geral entre as árvores amostradas. Através do resumo da análise de variância (Anexo 1.7), observou-se que não houve diferença significativa nas regiões radiais.

Analizando conjuntamente os resultados para as características anatômicas relacionadas aos aspectos das fibras notou-se que, da medula para a casca, que essas características proporcionaram maiores percentuais de parede. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Tomazello Filho (1985b). Este autor afirma que as células cambiais passam a produzir elementos com maiores dimensões. Contudo, nos resultados deste trabalho, os diâmetros externos e internos não sofreram essas variações esperadas, mas suas variações somadas as variações dos comprimentos das fibras conduziram a uma maior presença de material lenhoso na região externa, que segundo o mesmo autor representa madeira de melhor qualidade com idade mais avançada. Cabe salientar que os trabalhos desenvolvidos pelo autor citado representam resultados da amostragem em indivíduos com dez anos de idade, amostrados somente na região do DAP.

4.3.2. Vasos

Os resultados médios e os respectivos coeficientes de variação, obtidos para os aspectos dos vasos coletados a partir dos cortes histológicos no plano transversal, encontram-se listados no Quadro 24. Semelhante às dimensões das fibras, pode-se observar, para todas os aspectos dos vasos, que os valores médios encontrados para as regiões intermediária e externa se mostraram mais próximas entre si. Este fato pode estar relacionado, mais uma vez, à tendência de formação de madeira adulta pela estabilização dessas características, conforme mencionado por Ceccantini (1996).

Quadro 24. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as características relacionadas aos aspectos dos vasos.

Características dos vasos	Média por região			CV (%) por região		
	Cent.	Inter.	Ext.	Cent.	Inter.	Ext.
Número por milímetro quadrado	11,6	8,6	8,1	43,3	26,2	28,2
Diâmetro tangencial (μm)	111,4	134,0	139,9	33,1	27,4	31,8
Área de ocupação ($\%/ \text{mm}^2$)	17,9	18,6	19,1	31,6	29,5	31,2

Cent.; Inter. e Ext. representam as regiões central, intermediária e externa, respectivamente

Os resultados médios obtidos para a amostragem completa das características relacionadas aos vasos nas seis árvores e três regiões radiais e os seus respectivos coeficientes de variação encontram-se listados nos Anexos 2.1., 2.2. e 2.3.

Para o número de vasos por milímetro quadrado pode-se observar que houve diferença significativa entre as diferentes regiões radiais (Anexo 2.4). A Figura 34 ilustra a tendência decrescente de variação e a comparação múltipla entre as médias, a 5% de significância. Verifica-se que a região central apresentou maior valor médio geral (11,6), o qual diferiu estatisticamente das demais regiões. Também se observa a igualdade estatística entre as regiões intermediária (8,6) e externa (8,1). Tal variação decrescente entre as médias foi notada entre as árvores amostradas e assemelha-se com os resultados do trabalho de Cruz (2000) e Tomazello Filho (1985b). Ao considerar os dados absolutos, encontrou-se o máximo valor de 25 vasos/ mm^2 (região central) e o mínimo de 3,5 vasos/ mm^2 (região externa). Esta característica, também apresentou, na região central, uma maior dispersão com coeficiente de variação geral médio de 43,3% (Anexo 2.1).

Para o diâmetro tangencial dos vasos (Quadro 24), pode-se notar um aumento de sua dimensão média da medula para a casca. Estes dados corroboram com o trabalho de Cruz (2000). Numa análise geral dos dados, observou-se que o valor mínimo encontrado, de 20 μm , foi igualmente verificado para as três regiões radiais. Já os valores máximos, de 200 e 230 μm , foram observados na região central e nas regiões intermediária e externa, respectivamente, mostrando coeficiente de variação médio de 30%.

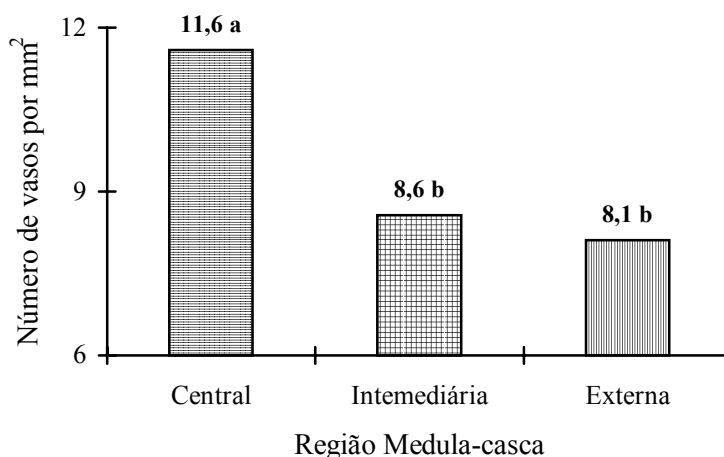


Figura 34. Distribuição e comparação múltipla das médias para vasos por milímetro quadrado, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

No Anexo 2.4 encontra-se o resumo da análise de variância para o diâmetro tangencial. Pode-se observar que houve diferença significativa entre as diferentes regiões radiais, a 5% de significância. Este fato foi comprovado pela comparação múltipla entre as médias, a qual encontra-se ilustrada na Figura 35. Observa-se as regiões externa e intermediária não diferiram entre si, mas que diferiram da região central.

Partindo do fato que os vasos possuem diferentes dimensões e podem afetar as propriedades da madeira não somente pelo número encontrado por área, mas também pelo percentual de ocupação do somatório das áreas de todos os vasos presentes na mesma área, fez-se o levantamento do percentual de ocupação dos vasos no plano transversal, em percentual por milímetro quadrado nas diferentes regiões radiais. Esses dados encontram-se listados no Anexo 2.3. Numa análise geral dos dados, verificou-se valor mínimo, de 5%, igualmente nas regiões central e externa. Já o valor máximo, de 40%, foi observado na região externa. Contudo, em média (Quadro 24), observou-se uma tendência crescente da medula para a casca. A análise de variância não detectou diferença significativa, a 5% de significância para as diferentes regiões radiais (Anexo 2.4). Este fato é corroborado com os resultados de Cruz (2000), que afirma que a área ocupada pelos vasos, em porcentagem, não

varia na direção medula-casca, pois a redução no número é compensada pelo aumento dos seus diâmetros.

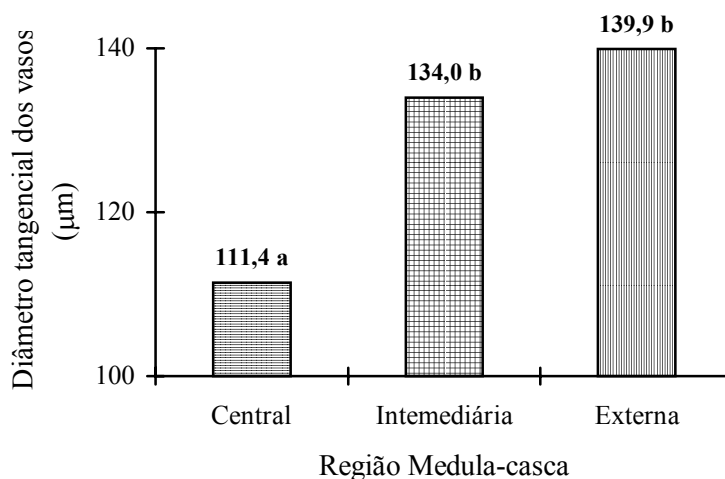


Figura 35. Distribuição e comparação múltipla das médias para o diâmetro tangencial dos vasos, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

A dispersão geral dos valores mensurados para a área de ocupação dos vasos, no material amostrado, não acompanhou um padrão uniforme, sendo obtido coeficientes de variação de aproximadamente 30%.

4.3.3. Parênquima radial

Os resultados médios e os respectivos coeficientes de variação, obtidos para os aspectos relacionados ao parênquima radial (raios) e coletados a partir dos cortes histológicos (plano longitudinal tangencial), encontram-se listados no Quadro 25. Mais uma vez, para a maioria das características ligadas ao parênquima radial, pôde-se observar uma maior proximidade dos valores encontrados para as regiões intermediária e externa. Tal fato pode estar relacionado à tendência de formação de madeira adulta, de acordo com Ceccantini (1996).

Quadro 25. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as características relacionadas ao parênquima radial (raios).

Características do parênquima radial	Média por região			CV (%) por região		
	Cent.	Inter.	Ext.	Cent.	Inter.	Ext.
Número de raios por milímetro	12,4	11,5	11,6	17,8	16,4	16,8
Altura total do raio (μm)	199,6	200,5	210,6	47,8	40,9	42,3
Altura por célula do raio (μm)	19,0	21,0	21,6	21,9	19,8	15,4
Largura total do raio (μm)	15,1	13,6	14,2	31,5	26,8	32,4
Largura por célula do raio (μm)	13,0	12,4	12,2	29,1	27,9	28,6

Cent.; Inter. e Ext. representam as regiões central, intermediária e externa, respectivamente

Nos Anexos 3.1., 3.2., 3.3., 3.4. e 3.5 encontram-se apresentados os resultados médios obtidos para a amostragem nas seis árvores e três regiões radiais e os seus respectivos coeficientes de variação para o número de raios por milímetro, a altura total do raio, a altura por célula do raio, a largura total do raio e a largura por célula do raio.

Pela análise de variância (Anexo 3.6) verificou-se a não existência de diferença significativa, a 5% de significância, entre as três regiões radiais para a característica número de raios por milímetro. A variação total das médias obtidas para esse parâmetro não apresenta um modelo característico para as árvores e/ou regiões estudadas, sendo encontrados valores mínimos de 7 raios/mm para as regiões intermediária e externa, de 9 raios/mm para a região central. Já os máximos valores foram de 17 raios/mm para as regiões intermediária e externa, e de 19 raios/mm para a região central. Estes dados encontram-se de acordo com o trabalho de Alfonso (1987). Toda dispersão existente, entre os dados, refletiu em coeficiente de variação médio de 17%.

Os resultados médios da característica da altura total do raio, apresentado no Quadro 25, encontram-se de acordo com resultados do trabalho de Alfonso (1987). Os valores mínimos encontrados foram de 33 μm (região central e intermediária) e 50 μm (região externa). Os máximos valores encontrados foram de 520, 600 e 633 μm para as regiões intermediária, central e externa, respectivamente. Verifica-se uma tendência crescente no

sentido da medula-casca e que a dispersão dos dados foi de menor magnitude nas regiões intermediárias e externa. O coeficiente de variação médio foi de aproximadamente 45%. No Anexo 3.6 pode ser observado o resumo da análise de variância, a qual mostra não haver diferença significativa, a 5% de significância, para as diferentes regiões radiais da característica em questão.

Analisando os dados médios das alturas isoladas de cada célula dos raios (Quadro 25), notou-se uma tendência crescente da medula para a casca, sendo em média para as seis árvores de 19,0; 21,0 e 21,6 μm para as regiões central, intermediária e externa, respectivamente. Pelo Anexo 3.3, pode-se observar que o coeficiente de variação, por região radial, apresentou a região central de forma mais heterogênea, atingindo 21,9%. Já as regiões intermediária e externa obtiveram coeficientes de variação de 19,8 e 15,4%, respectivamente. O resumo da análise de variância para a altura média de cada célula do raio (Anexo 3.6) mostrou haver diferença estatística, significativa a 5% de significância, entre as regiões radiais. Este fato pode ser comprovado através da comparação múltipla entre as médias (Figura 36), onde a região central mostrou-se diferente das regiões intermediária e externa, mas essas últimas mostraram-se iguais.

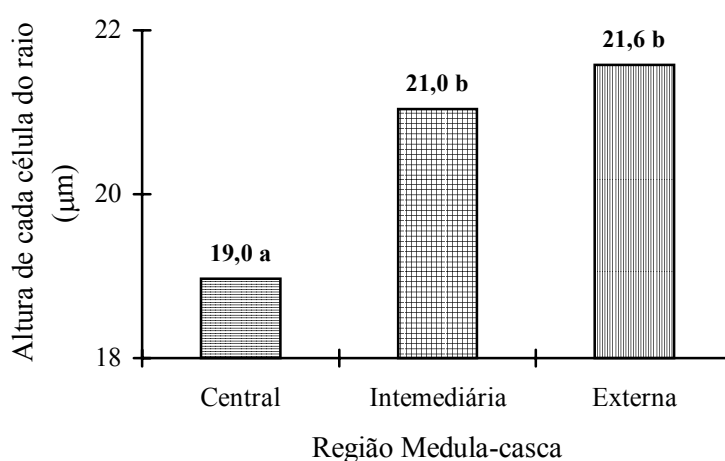


Figura 36. Distribuição e comparação múltipla das médias para a altura média de cada célula do raio, em μm , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Para a característica da largura total dos raios (Quadro 25) observou-se uma tendência variada da medula para a casca, havendo uma queda inicial (região intermediária) e depois uma ascensão até a região externa. Através da análise de variância (Anexo 3.6), verificou-se que não houve diferença significativa, a 5% de significância, para as regiões radiais. A dispersão geral dos dados também não acompanhou uma tendência, ao longo das regiões radiais, sendo observado um coeficiente de variação médio de 30% (Anexo 3.4).

Analizando os dados médios das larguras de cada célula dos raios separadamente, verificou-se, de modo geral, um padrão decrescente entre as médias das regiões radiais da medula para a casca (Quadro 25). Pelo Anexo 3.5, observa-se que a análise de variância para a largura de cada célula do raio não detectou diferença significativa, a 5% de significância. A dispersão geral dos dados apresentou coeficiente de variação de aproximadamente 28%, que foi semelhantemente observado para as regiões radiais. Porém, a região central apresentou uma maior dispersão, com coeficientes de variação variando de 19,6 a 30,9%.

4.3.4. Ângulo da grã

Os resultados médios gerais obtidos para a característica anatômica ângulo da grã, em graus e os seus respectivos coeficientes de variação, encontram-se listados no Quadro 26.

Quadro 26. Valores médios e coeficientes de variação (%) para o ângulo da grã.

Característica	Média por região			CV (%) por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
Ângulo da grã	2,11	1,87	2,14	81,7	69,1	72,2

O Ângulo da grã foi medido através do desvio das fibras em relação à aresta da tábua utilizada nas operações de usinagem. Sua tendência média observada não se apresentou uniforme para as regiões radiais, mas que se mostrou, de forma geral, decrescente da região central para a intermediária e depois crescente até a região externa. Numa análise geral dos dados, observaram-se valores do ângulo da grã com distribuições semelhantes, que variavam de 0° , igualmente nas três regiões, até $5,6^\circ$; $5,5^\circ$ e $6,7^\circ$ para as regiões central, intermediária e externa, respectivamente. A grande variação do ângulo da grã pode ser explicada pela dificuldade de medição que é executada num plano e na verdade o fenômeno é tridimensional, conforme pode ser visto da Figura 37. O ponto amostrado na Figura 37-a representa a fronteira entre as regiões intermediária e externa, mais precisamente a 66,7% do raio, onde foi verificada a maior evidência da variação da grã entre os planos longitudinais radial e tangencial, isto é, este fenômeno mostrou-se quase nulo próximo a medula, crescente até 66,7% do raio e a partir daí manteve-se constante ou sofreu ligeira queda até próximo a casca (Figura 37-b).

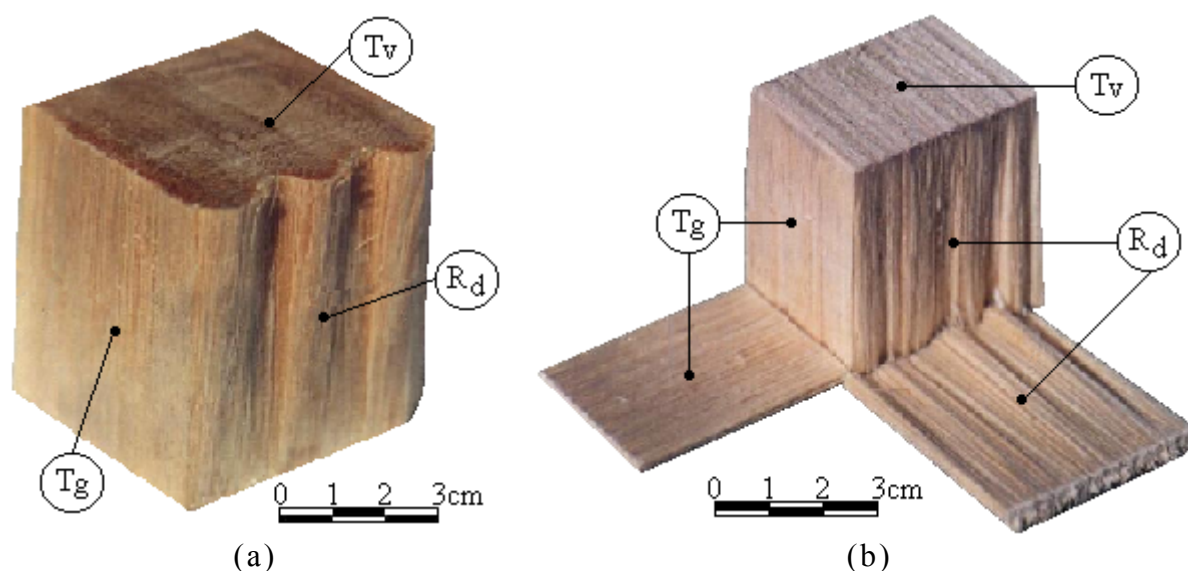


Figura 37. Fenômeno da grã entrecruzada, sendo a= amostra de madeira retirada na fronteira entre as regiões intermediária e externa; b= amostra retirada na região externa; Tv= plano transversal; Rd= plano longitudinal radial e Tg= plano longitudinal tangencial.

Conforme o discutido anteriormente, é visto que alguns pesquisadores definem o plano de leitura como sendo a face tangencial externa da tábua, que representa a possibilidade de confronto com medições executadas nas árvores em pé. Devido ao esquema de desdobro efetuado para obtenção dos corpos-de-prova (Figura 18), o qual não disponibilizou somente tábuas tangenciais, não foi possível adotar essa metodologia. Então, definiu-se o local de leitura do ângulo da grã como a região mais próxima das operações de usinagem executadas no sentido axial, isto é, localizou-se duas leituras. A primeira foi executada sobre a face do desempenho e a segunda na face oposta (desengrosso). Além disto, teve-se que executar essas leituras o mais próximo possível das operações de moldura axial “parada”, de perfilagem sinuosa com faca plana, de rasgo na furadeira horizontal e de fresagem axial.

A forte dispersão geral dos valores do ângulo da grã que pode ser observado através dos altos coeficientes de variação, de até 141,4% para a região central na árvore um (Anexo 4.1). A análise de variância para o ângulo da grã encontra-se no Anexo 4.2, mostrando-se não haver diferença entre as médias das três regiões radiais.

4.3.5. Composição do tecido por tipo de células

A composição do tecido da madeira pelos seus principais tipos de células (fibras, vasos, parênquimas radial e axial) pode indicar a qualidade para um determinado uso. Os resultados médios gerais para a composição do tecido da madeira, em percentual e os seus respectivos coeficientes de variação, encontram-se listados no Quadro 27. Nos Anexos 5.1., 5.2., 5.3. e 5.4 encontram-se as medias para as seis árvores e três regiões radiais amostradas.

O percentual de fibras que compõe o tecido da madeira merece destaque, pois representa mais de 50% da composição total do tecido. Este percentual apresentou valores gerais médios aproximados de 54, 57 e 55% para as regiões central, intermediária e externa, respectivamente. Através da análise geral dos dados, verificou-se tendência ao aumento da proporção de fibras da

região central para a região intermediária e a partir daí leve queda ou manutenção dessa proporção até a região externa.

Quadro 27. Valores médios e coeficientes de variação (%) para a composição do tecido da madeira pelos seus principais tipos de células.

Composição por tipo de célula	Média por região (%)			CV (%) por região		
	Central	Interm.	Externa	Central	Interm.	Externa
Fibras	53,9	56,7	54,9	14,9	10,6	11,4
Vasos	16,9	19,2	19,6	24,2	22,7	24,3
Parênquima radial	13,4	11,4	12,6	29,0	26,8	29,3
Parênquima axial	15,8	12,7	12,9	41,6	28,5	30,7

Interm. representa a região intermediária

A dispersão geral dos dados, vistos através dos coeficientes de variação, mostra a região central com maior percentual (14,9%) seguido da região externa (11,4%) e região intermediária (10,6%). A análise de variância não detectou diferença significativa, a 5% de significância, para a variação radial (Anexo 5.5).

Os resultados gerais médios, obtidos para o percentual de vasos que participa na composição tecido da madeira (Quadro 27), mostram uma tendência de aumento da medula para a casca. A análise de variância foi significativa, a 5% de significância, indicando diferença entre as regiões radiais (Anexo 5.5). A Figura 38 mostra a tendência de variação existente entre as regiões analisadas, além do teste de comparação múltipla entre as médias. A região central apresentou menores valores médios. Também para essa característica, as regiões intermediária e externa se apresentaram valores semelhantes. Este fato pode ser atribuído à zona de transição da madeira juvenil com a adulta. A variação dos dados mostrou-se de forma não uniforme entre as regiões radiais. A região intermediária apresentou coeficientes de variação, aproximadamente de 13% a 27% (Anexo 5.2).

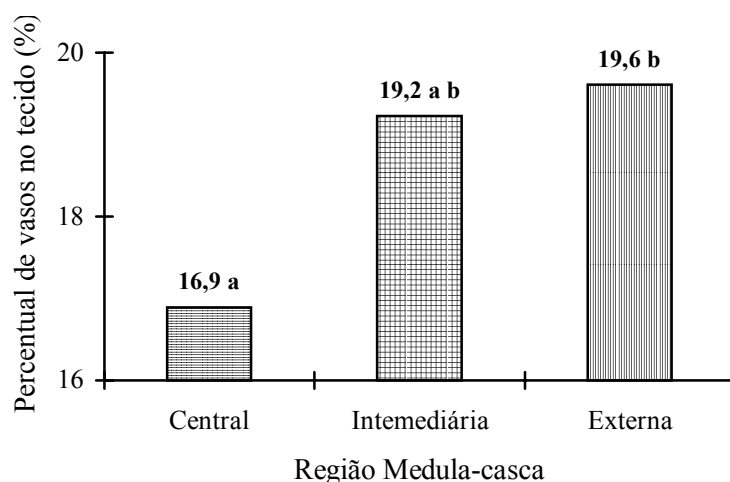


Figura 38. Distribuição e comparação múltipla das médias para a proporção de vasos no tecido da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Na contribuição das células do parênquima radial na composição do tecido da madeira observou-se uma predominância decrescente da região central para a intermediária e a partir daí crescente até a região externa (Quadro 27). Pelo Anexo 5.5 observa-se que houve diferença significativa, a 5% de significância, para as três regiões radiais. Este fato pode ser mais bem compreendido através da comparação múltipla das médias ilustrada na Figura 39.

No Anexo 5.3 encontram-se os resultados médios obtidos para a amostragem completa do percentual de células de parênquima radial que compõe a madeira, nas seis árvores e três regiões radiais e os seus respectivos coeficientes de variação. A variação geral dos dados, através do coeficiente de variação, também não aponta para uma forma definida, podendo ser crescente ou decrescente da medula para a casca, nas diferentes árvores.

Outro principal elemento celular que compõe o tecido da madeira é o parênquima axial. Os valores médios referentes a sua contribuição na formação da madeira (Quadro 27) mostram que a tendência de distribuição radial das médias, no sentido medula-casca, apresenta de forma decrescente

com uma maior magnitude entre as regiões central e intermediária e a partir daí uma leve estabilização.

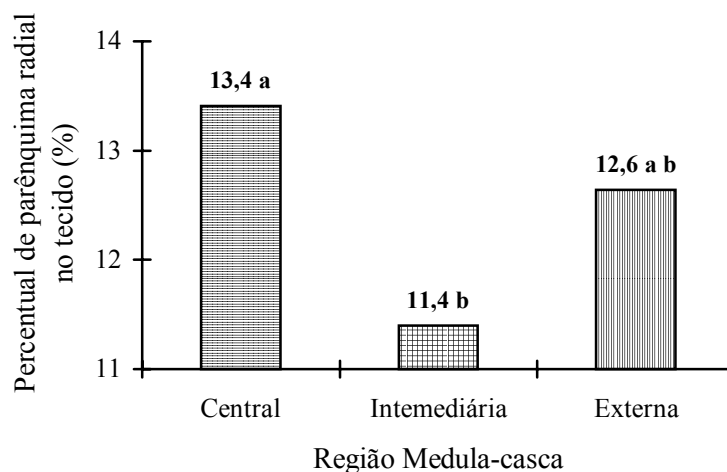


Figura 39. Distribuição e comparação múltipla das médias para a proporção de parênquima radial no tecido da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

A classificação observada para o parênquima axial do tipo paratraqueal, indicaria uma relação direta com a distribuição dos vasos. Contudo, observou-se tendências opostas entre a distribuição desses dois elementos. Esse comportamento pode ser explicado devido que o aumento do número dos vasos é inversamente proporcional a redução de suas dimensões, causando menores associações com os parênquimas axiais.

Através da análise de variância observou diferença significativa entre as regiões radiais (Anexo 5.5). A Figura 40 mostra a tendência de variação existente entre as regiões radiais e o teste de comparação múltipla das médias. Nota-se que a média da proporção de parênquima axial para a região central é superior as demais regiões e diferem estatisticamente destas. Os dados gerais por região, mostram grande variação para a região central, gerando coeficiente de variação de até 61,5% (Anexo 5.4).

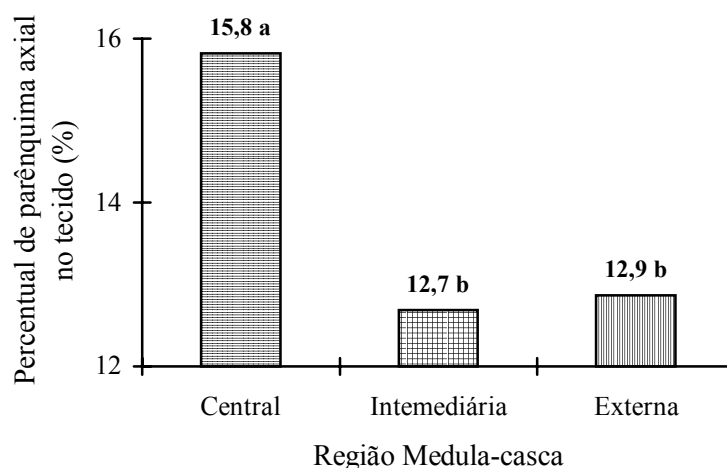


Figura 40. Distribuição e comparação múltipla das médias para a proporção de células do parênquima axial no tecido da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

4.4. PROPRIEDADES FÍSICAS

Foram analisadas as propriedades físicas relacionadas às contrações totais lineares (radiais e tangencias) e volumétricas, ao coeficiente de anisotropia e à massa específica básica da madeira. Os resultados médios gerais para essas propriedades e os seus respectivos coeficientes de variação encontram-se listados no Quadro 28.

Os resultados médios gerais, nas seis árvores e três regiões radiais amostradas, para todas as propriedades físicas analisadas, neste trabalho, e os seus respectivos coeficientes de variação, encontram-se listados nos Anexo 11.1., 6.2., 6.3., 6.4 e 6.5.

4.4.1. Contrações lineares, volumétricas e coeficiente de anisotropia

Através dos resultados médios obtidos para a contração radial total da madeira, observou-se uma tendência crescente da medula para a casca

(Quadro 28). Esta tendência pode ser entendida pela variação da massa específica, que também é crescente na mesma direção, associada a maiores proporções de parede. Este aspecto conseqüentemente conduziu a maiores contrações na região de maior massa específica.

Quadro 28. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as propriedades físicas da madeira.

Propriedade física	Média por região			CV (%) por região		
	Cent.	Inter.	Ext.	Cent.	Inter.	Ext.
Contração radial total (%)	4,8	6,1	6,7	27,3	22,6	15,2
Contração tangencial total (%)	9,4	11,0	10,6	28,8	22,5	13,7
Contração volumétrica total (%)	13,5	15,8	16,5	22,1	17,6	9,2
Coeficiente de anisotropia (adm.)	2,00	1,84	1,62	15,9	21,7	23,7
Massa específica básica (g/cm ³)	0,38	0,43	0,51	11,4	18,8	15,1

Cent.; Inter. e Ext. representam as regiões central, intermediária e externa, respectivamente

No Anexo 6.6 encontra-se o resumo da análise de variância, tendo sido verificado diferença significativa, a 5% de significância, para a contração radial total nas diferentes regiões radiais. A Figura 41 ilustra a variação observada e a comparação múltipla entre as médias das regiões radiais. Verifica-se que a diferença marcante ocorre entre a região central e as demais regiões. A igualdade estatística entre a região intermediária e externa apresenta-se como outro fator de confirmação da influência da anatomia nas propriedades físicas, justificadas pela provável zona de transição da madeira juvenil para a adulta.

A dispersão geral dos dados (Anexo 6.1) entre as regiões radiais para a contração radial total, observada através dos coeficientes de variação, apresenta uma maior magnitude para a região central (31,8%) e uma menor para a região externa (4,9%).

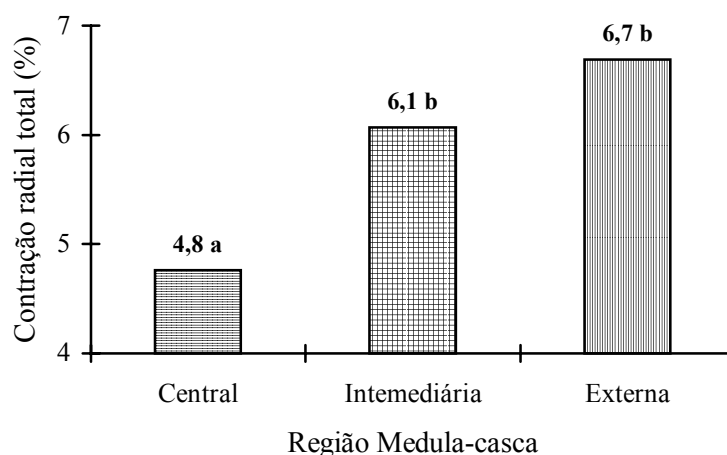


Figura 41. Distribuição e comparação múltipla das médias para a contração radial total da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Com relação à contração tangencial total, observou-se uma distribuição semelhante àquela ocorrida com a contração radial total, mostrando também aumento da medula para a casca (Quadro 28). Este fato se deve, principalmente, ao aumento da circunferência dos anéis de crescimento à medida que se afastam da medula. Este aspecto diferenciou as faces das peças de madeira. Observou-se que a face mais externa se contraiu em maior percentual. Pela análise de variância, a 5% de significância, não se observou diferença significativa para as regiões radiais (Anexo 6.6).

Numa análise da gama geral dos dados, pôde-se observar que a região central apresentou menores valores médios. A partir daí ocorreram, entre as árvores amostradas, aumentos de distintas magnitudes até a região intermediária e depois uma tendência à estabilização, através de pequenos aumentos ou quedas até a região externa (Anexo 6.2). Em relação aos coeficientes de variação, pode-se observar que a região central apresentou maior variabilidade, que atingiram ordem de 41% e a região externa com menor (7,5%), sendo similar ao observado na contração radial.

Desprezando a contração axial total da madeira, que atinge valores da ordem de 0,2%, pode-se considerar que a contração volumétrica total seja explicada através da ação conjunta das contrações totais radiais e tangenciais. Suas variações conjuntas explicam grande parte da variação da contração volumétrica total. Os dados médios para a contração volumétrica total apresentaram uma tendência crescente da medula para a casca (Quadro 28).

A análise de variância (Anexo 6.6), demonstra haver diferença significativa, a 5% de significância, para a contração volumétrica total entre as diferentes regiões radiais. A comparação múltipla e a variação observada entre as médias são mostradas na Figura 42. Verifica-se que, mais uma vez, a região central apresenta o mais baixo valor e que este se diferencia das demais regiões.

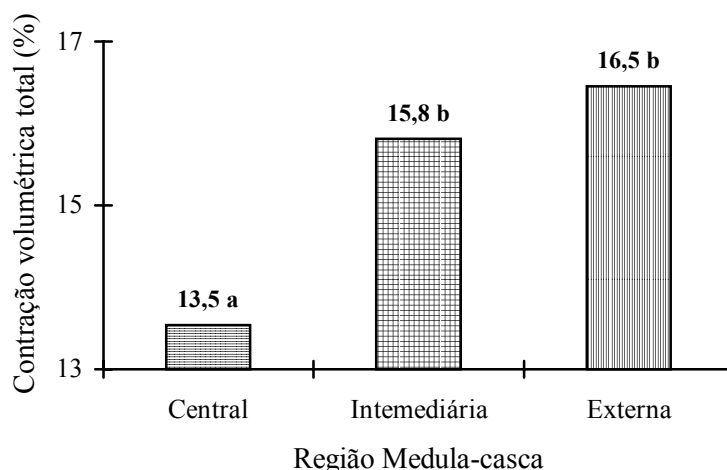


Figura 42. Distribuição e comparação múltipla das médias para a contração volumétrica total da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Semelhantemente as anteriores, após análise geral dos dados da contração volumétrica total (Anexo 6.3), observou-se uma dispersão geral dos dados apresentando maiores coeficientes de variação para a região central (30,3%) e menores valores para a região externa (5,1%).

Outro fator físico que reflete a relação entre as contrações totais tangenciais e radiais é o coeficiente de anisotropia. Este coeficiente representa a razão entre a contração tangencial pela radial. Diferentemente das anteriores, observou-se uma tendência de variação de forma decrescente da medula para a casca, apresentando uma madeira menos estável dimensionalmente na região central (Quadro 28). Contudo pela classificação de Durlo e Marchiori (1992), as regiões podem ser igualmente consideradas como de classe normal. Pela análise de variância (Anexo 6.6), verificou-se diferença significativa, entre as diferentes regiões radiais. A comparação múltipla entre as médias e a tendência observada encontram-se na Figura 43.

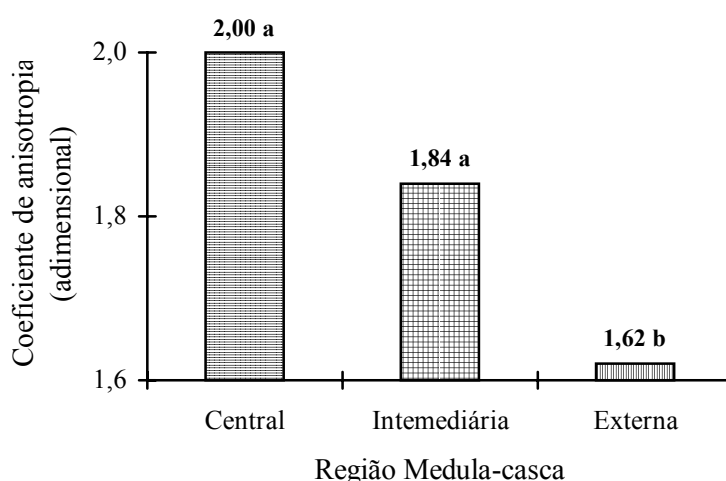


Figura 43. Distribuição e comparação múltipla das médias para o coeficiente de anisotropia da madeira em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os resultados médios gerais obtidos para o coeficiente de anisotropia da madeira, nas diferentes árvores e regiões radiais amostradas e os seus respectivos coeficientes de variação, encontram-se listados no Anexo 6.4. A dispersão geral dos dados apresentou tendência oposta àquelas das contrações lineares e volumétricas, ou seja, foi menor na região central e maior na região externa, onde se observa coeficientes de variação entre 6,1 e 37,7%.

4.4.2. Massa específica básica

A distribuição média dos dados da massa específica básica, para as diferentes regiões radiais amostradas, apresenta um aumento da medula para a casca, que atinge ordem de 30 a 40% maior quando comparado os dados da região central e externa. Pelo Anexo 6.6 pode ser observada a diferença significativa, a 5% de significância, entre as regiões radiais. A Figura 44 mostra a tendência de variação observada e o teste de comparação múltipla entre as médias das regiões.

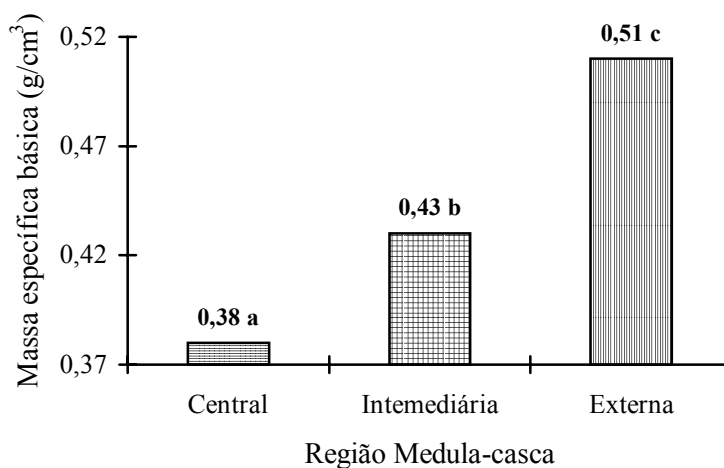


Figura 44. Distribuição e comparação múltipla das médias para a massa específica básica da madeira, em g/cm^3 , em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Através da análise dos dados nas diferentes árvores amostradas (Anexo 11.5), observa-se que os coeficientes de variação encontrados nas regiões radiais apresentam maiores dispersões na região intermediária (18,8%) e menores para a região central (4,3%). Esses coeficientes apresentam tendência crescente da região central para a intermediária, onde atinge os máximos valores e a partir daí decresce para a região externa.

4.5. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Foram analisadas as propriedades relativas às solubilidades da madeira em água quente e fria, em álcool-tolueno e NaOH (1%), além dos percentuais de extrativos totais, de lignina insolúvel e de cinzas.

4.5.1. Solubilidade da madeira

Os resultados médios gerais para as solubilidades da madeira em água quente, em água fria, em álcool-tolueno e NaOH (1%) e os seus respectivos coeficientes de variação encontram-se listados no Quadro 29.

Quadro 29. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as propriedades químicas de solubilidades da madeira.

Propriedade química de solubilidade da madeira (%)	Média por região			CV (%) por região		
	Cent.	Inter.	Ext.	Cent.	Inter.	Ext.
Água quente	1,4	1,8	2,6	45,4	63,9	43,8
Água fria	1,1	1,7	2,2	67,5	49,7	41,1
Álcool-tolueno	2,0	2,1	2,1	19,4	20,5	20,5
NaOH (1%)	11,4	10,4	10,3	18,1	13,8	14,5

Cent.; Inter. e Ext. representam as regiões central, intermediária e externa, respectivamente

Os resultados médios gerais, nas seis árvores e três regiões radiais amostradas, para as propriedades químicas de solubilidade da madeira em diferentes solventes e os seus respectivos coeficientes de variação, encontram-se listados nos Anexo 7.1., 7.2., 7.3. e 7.4.

Para a solubilidade da madeira em água quente pode ser observada uma tendência crescente entre as médias das diferentes regiões radiais amostradas. Numa análise geral da distribuição dos dados observou-se valores mínimos de 0,4%, para as regiões central e intermediária e máximos de 5,0% para as regiões intermediária e externa. O resumo da análise de variância, a 5% de significância, descrita no Anexo 7.5, apresentou efeito significativo entre as

distintas regiões radiais. A Figura 45 ilustra a variação existente entre as regiões radiais analisadas e a comparação múltipla entre elas.

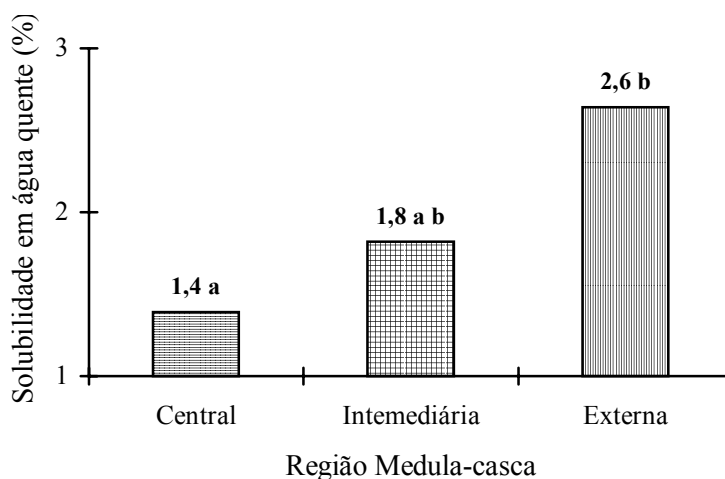


Figura 45. Distribuição e comparação múltipla das médias para a solubilidade em água quente, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os coeficientes de variação dos dados das solubilidades da madeira em água quente foram bastante irregulares apresentando mínimos de 3,9% e máximos de 78,8%, ambos na região central (Anexo 7.1).

A solubilidade da madeira em água fria apresentou uma distribuição crescente, da medula para a casca, entre as médias das diferentes regiões radiais (Quadro 29). Analisando a gama completa de variação dos dados da solubilidade em água fria, observam-se valores mínimos de 0,2; 0,6 e 1,1% para as regiões central, intermediária e externa, respectivamente. Já os máximos valores foram de 2,6% para a região central e 4,0% para as demais regiões. A análise de variância, a 5% de significância, foi significativa para as diferentes regiões radiais (Anexo 7.5). A tendência de variação radial encontrada e a comparação múltipla entre as médias dessas regiões encontram-se ilustrada na Figura 46 e mostrou-se semelhante à solubilidade em água quente.

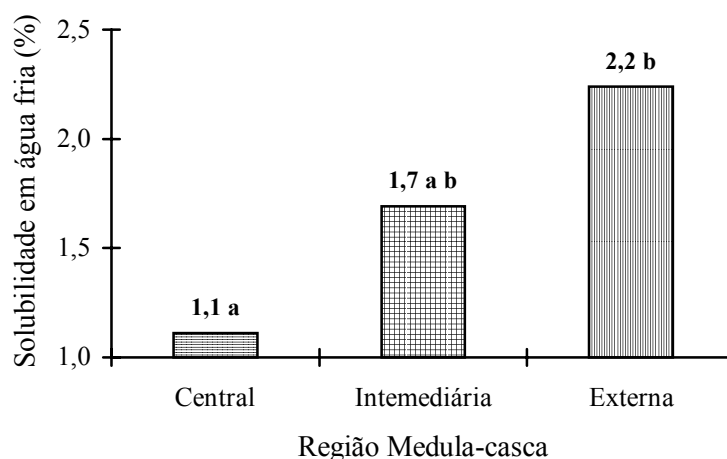


Figura 46. Distribuição e comparação múltipla das médias para a solubilidade da madeira em água fria, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os coeficientes de variação encontrados para as solubilidades da madeira em água fria foram bastante irregulares apresentando valores mínimos de 3,3% e máximos de 85,6% para as regiões intermediária e central, respectivamente (Anexo 7.2).

Observou-se, pelas médias gerais de solubilidade em álcool-tolueno, adaptado da metodologia de extração com álcool-benzeno, uma tendência crescente da medula para a casca. Pela análise de variância (Anexo 7.5), verificou-se a não existência de diferença estatística significativa, a 5% de significância, entre as médias das regiões radiais.

Através da gama geral de variação, observou-se que os valores mínimos encontrados para a solubilidade da madeira em álcool-tolueno foram de 1,6%, na região central e 1,3% nas regiões intermediária e externa. Já os máximos valores foram de 2,9; 2,8 e 2,7% para as regiões central, intermediária e externa, respectivamente (Anexo 7.3). Os coeficientes de variação podem ser considerados baixos e ficaram bem próximos, no geral, para as três regiões analisadas. Neste sentido pode-se destacar a região central que se apresentou mais homogênea, dentro das árvores amostradas, com valores da ordem de 1,8%.

A distribuição das médias para a solubilidade da madeira em NaOH (1%) apresentou tendência definida de maneira decrescente da medula para a casca. Pela análise de variância (Anexo 7.5) verificou-se que não existe diferença estatística significativa, a 5% de significância, entre as médias das regiões radiais. Os coeficientes de variação foram baixos, sendo maior na região central (18,1%) e menores nas regiões intermediárias (13,8%) e externa (14,5%).

4.5.2. Percentuais de extrativos totais, lignina insolúvel e cinzas

Os resultados médios para os percentuais de extrativos totais, de lignina insolúvel e de cinzas da madeira e os seus respectivos coeficientes de variação encontram-se listados no Quadro 30.

Quadro 30. Valores médios e coeficientes de variação (%) para as propriedades químicas de percentuais de extrativos totais, de lignina insolúvel e de cinzas da madeira.

Propriedade química	Média por região			CV (%) por região		
	Cent.	Inter.	Ext.	Cent.	Inter.	Ext.
Percentual de extrativos totais	4,1	4,7	5,2	17,6	18,6	17,7
Percentual de lignina insolúvel	15,4	16,6	17,1	9,6	8,9	7,9
Percentual de cinzas	0,19	0,13	0,15	62,4	64,9	36,3

Cent.; Inter. e Ext. representam as regiões central, intermediária e externa, respectivamente

Os resultados médios obtidos para a amostragem completa das análises químicas para os percentuais acima descritos nas seis árvores e três regiões radiais e os seus respectivos coeficientes de variação encontram-se listados nos Anexos 8.1., 8.2. e 8.3.

Pode-se observar (Quadro 30) que os resultados obtidos para o teor de extrativos totais da madeira mostraram uma distribuição com tendência crescente da medula para a casca. Os coeficientes de variação encontrados

podem ser considerados também como sendo baixos e bem próximos nas três regiões. O resumo da análise de variância encontra-se no Anexo 8.4. Observou-se que existe diferença significativa, a 5% de significância, para as diferentes regiões radiais. A Figura 47 ilustra a tendência de variação e a comparação múltipla entre as médias. Observa-se que, semelhantemente às extrações em água quente e em água fria, a média de extrativos totais apresentada para a região central mostrou mais baixo que as demais regiões.

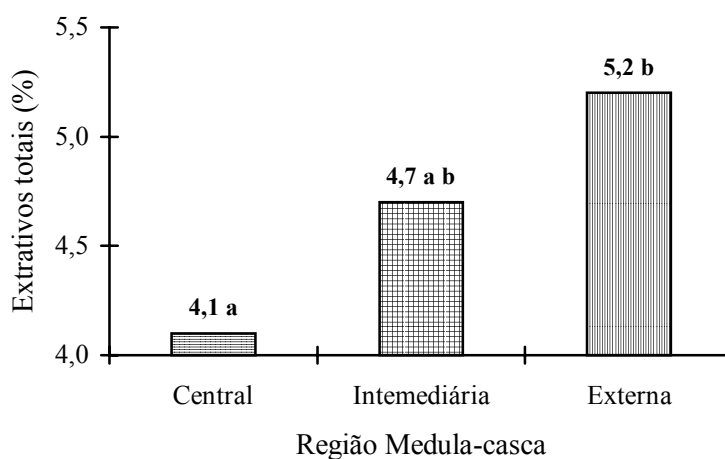


Figura 47. Distribuição e comparação múltipla das médias para o teor de extrativos totais da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos (Quadro 30) para o percentual de lignina insolúvel da madeira foram mais baixos que os normalmente relatados na literatura usual para a madeira de eucalipto. Este fato está associado com a idade do material, que no presente trabalho é bem superior e a metodologia empregada para sua determinação.

Observou-se um aumento dos percentuais de lignina insolúvel da medula para a casca, em todas as árvores, com exceção da árvore quatro, onde se observa um aumento da região central para a intermediária e a partir daí uma ligeira queda para a região externa. Os coeficientes de variação encontrados podem, de maneira geral, ser considerados baixos, em todas as

regiões radiais. A região central e externa apresentaram, respectivamente, o maior e o menor coeficiente de variação. Pela análise de variância, a 5% de significância, verificou-se diferença estatística significativa entre as regiões radiais estudadas (Anexo 8.4). A Figura 48 mostra a tendência de variação e a comparação múltipla entre as regiões radiais.

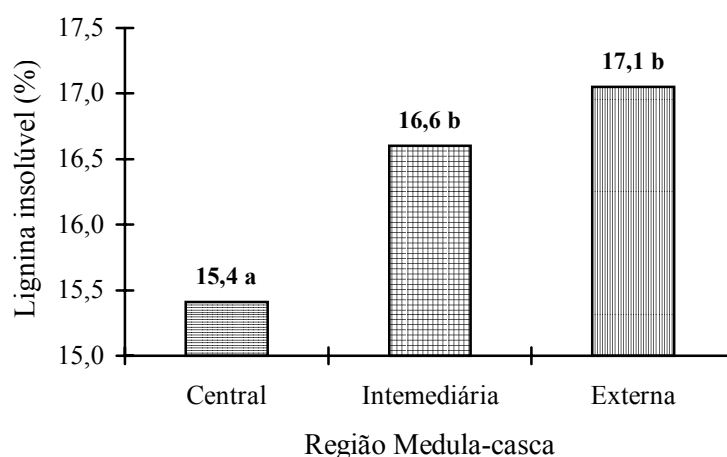


Figura 48. Distribuição e comparação múltipla das médias para o teor de lignina insolúvel da madeira, em %, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

O percentual de cinzas, determinado através da presença dos elementos minerais, após a incineração da madeira pode fornecer um indicativo ao desgaste das ferramentas de corte no momento dos diferentes tipos de usinagem. Os resultados médios obtidos mostraram que não existe uma tendência entre as médias por região radial, mas que de maneira geral a região intermediária apresentou os mais baixos valores. Analisando a gama geral de variação dos dados, encontrou-se o máximo valor igual a 0,45% para a região central, que comparativamente aos máximos valores das regiões intermediária e externa conduzem a um aumento percentual de 15 e de 73%, respectivamente. A análise de variância, a 5% de significância, não detectou diferença estatística significativa entre as regiões radiais estudadas

(Anexo 8.4). Os coeficientes de variação encontrados foram bastante altos, principalmente para as regiões central e intermediária.

4.6. OPERAÇÕES DE USINAGEM

Para comparar as diversas operações de usinagem é necessário observar se os parâmetros utilizados durante a execução de cada operação são semelhantes, mostrando que, caso alguma diferença seja notada, essa poderá ser atribuída à madeira ou, para o caso específico deste trabalho, às diferentes regiões radiais. Os principais parâmetros a serem levados em consideração, entre outros, são o avanço por dente (f_z), a velocidade de corte (V_c) e o comprimento do cavaco formado (l_c). O avanço por dente e a velocidade de corte podem prever a qualidade da superfície a ser obtida. O comprimento do cavaco diz respeito à manutenção desta qualidade durante a usinagem, pois exerce influência direta no desgaste da ferramenta de corte. Entretanto, esse parâmetro não foi considerado neste trabalho, pois foram tomados os cuidados necessários para evitar a influência do desgaste sobre a qualidade da usinagem, através da troca periódica das ferramentas e sorteio dos corpos-de-prova antes de cada operação específica.

As diferenças dos valores de velocidade de corte foram notadas apenas entre as diferentes operações de usinagem, relacionadas às características peculiares de cada uma. Os valores destes parâmetros encontram-se listados no Quadro 20 (Material e métodos). É importante informar que não existiram variações entre as velocidades de corte para cada corpo-de-prova usinado.

Os valores do avanço por dente foram cuidadosamente controlados entre os corpos-de-prova (Quadro 31), fornecendo baixos valores de coeficientes de variação. Pode-se observar, pela Equação 9 (item 3.6), que a variável que exerce influência sobre o avanço por dente é a velocidade de avanço do corpo-de-prova (V_f). Desta forma, justificou-se a sua avaliação, sendo que o Quadro 31 também apresenta seus valores médios nas diferentes operações de usinagem. Os demais fatores foram constantes para cada operação de

usinagem, dependendo apenas do maquinário e ferramentas utilizados. Cabe salientar que não existiu diferença para a velocidade de avanço da peça e para o avanço por dente entre as regiões radiais. Esses parâmetros apenas sofriam variações entre cada corpo-de-prova utilizado. Uma vez determinadas suas magnitudes, as regiões presentes sofreram suas influências igualmente. No Anexo 9.1 encontra-se a distribuição dos parâmetros de usinagem avanços por dente (f_z) e velocidade de avanço (V_f) calculados para as diferentes árvores.

Quadro 31. Valores médios calculados e coeficiente de variação para os parâmetros avanços por dente (f_z) e velocidade de avanço (V_f), nas diferentes operações de usinagem.

Parâmetro de Usinagem	Tipo de operação de usinagem								
	Dp	Dg	Ma	Mt	Pa	Rg	Fa/Ft	Fc*	Fd
f_z (mm)									
Média	0,60	0,59	0,37	0,28	0,13	0,06	0,05	0,19	0,05
CV (%)	1,97	0,25	8,35	5,56	5,67	6,55	10,94	3,59	3,33
V_f (m/min)									
Média	8,06	7,76	6,64	3,37	2,34	0,38	0,83	1,05	0,25
CV (%)	1,97	0,24	8,92	5,43	5,46	6,69	11,15	3,74	4,08

Dp = desempenho; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha e Fd = furação para dobradiça.

* representam valores médios para os diâmetros de 6, 8 e 10 mm.

No Quadro 32, encontra-se a comparação entre o avanço por dente calculado pela Equação 9 e o obtido através da medição direta nos corpos-de-prova usados nas operações de usinagem. Essa diferença foi observada, pois em algumas operações de usinagem, utilizou-se ferramentas com mais de um dente (gume) de corte. Todos os dentes presentes participam do processo de desbaste da madeira, entretanto apenas aqueles realmente ativos é que conferem a qualidade da superfície usinada. Geralmente, apenas um dente é considerado ativo, neste caso a relação esperada entre os dois tipos de f_z seria igual ao número de dentes da ferramenta utilizada, isto é, a relação seria igual a quatro. Neste sentido, observando-se a relação existente para as operações de desempenho e desengrosso, verifica-se que suas relações foram próximas a três vezes e não de quatro. Este fato pode ser entendido através da ação

conjunta de três fatores básicos (Figura 49). O primeiro contempla as diferenças entre os cilindros de corte dos dentes, o segundo está ligado à presença das vibrações no eixo porta-ferramentas e o terceiro representa a folga existente entre o furo de fixação da ferramenta de corte e o eixo da máquina.

Quadro 32. Diferença entre os valores médios calculados e medidos, para o avanço por dente (f_z), por operação de usinagem.

Operação de usinagem	Valor médio do f_z (mm)	
	Calculado (Equação 9)	Obtido por medição direta
Desempeno	0,60	1,8
Desengrosso	0,59	1,8
Moldura axial “parada”	0,37	0,7
Perfilagem axial sinuosa	0,13	0,3

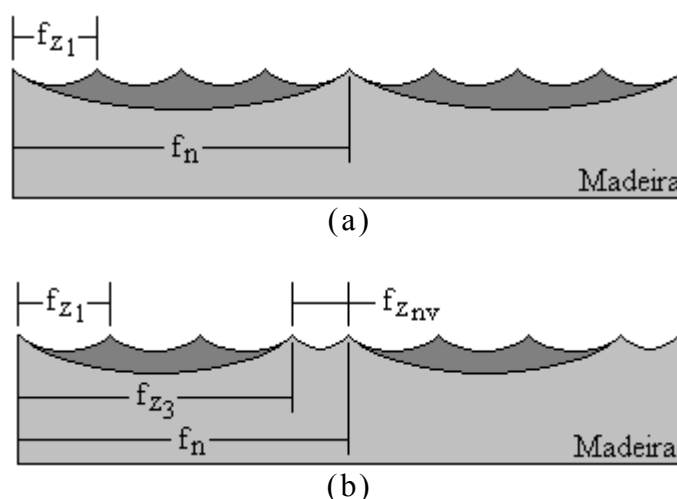


Figura 49. Esquema ilustrativo das diferenças entre os avanços por dente (f_z), sendo: a) a qualidade da usinagem ideal desejada; b) a qualidade observada após a usinagem, f_{z1} = calculado por dente; f_n = avanço por rotação; f_{z3} = medido diretamente no corpo-de-prova; e f_{znv} = não visível pela medição.

Embora tenham sido obtidos valores de avanço por dente que indicam ótimas qualidades para todas as operações de usinagem, a influência das baixas velocidades de corte promoveu redução na qualidade, pois são recomendadas, para execução de usinagens com segurança e qualidade, velocidades de corte superiores a 50 m/s. Este fato se deveu ao nível tecnológico do maquinário encontrado na indústria da madeira, principalmente nas marcenarias e fábricas de móveis. Observou-se pelo Quadro 20 que apenas para a operação de moldura axial “parada”, o valor de velocidade de corte foi suficiente para induzir a obtenção da qualidade da superfície e a segurança do operador.

Como exemplo, se fosse desejado utilizar o valor indicado da velocidade mínima de corte, de 50 m/s, para uma operação de furação para cavilha (Fc), cujo diâmetro da ferramenta é de 6 mm, seria necessário utilizar uma máquina que pudesse desenvolver uma frequência de rotação mínima equivalente a 160.000 min^{-1} . As máquinas furadeiras normalmente encontradas nas marcenarias podem desenvolver frequências de rotação da ordem de 3.000 a 5.000 min^{-1} . Esses valores proporcionam velocidades de corte de 1,57 e de 0,97 m/min, respectivamente, para a mesma ferramenta de 6 mm de diâmetro. Em compensação, as últimas gerações de centros de usinagem, bastante utilizadas para executarem furações diversas, dispõem de frequência de rotações de 40.000 até 80.000 min^{-1} .

4.6.1. Desempeno

Através da análise simultânea do Quadro 33 e do Anexo 9.3 observou-se que para a operação de desempenho executado na face do corpo-de-prova a distribuição total das notas conferidas à rugosidade da superfície pelos diferentes avaliadores mostraram, em média, valores mínimos de um e máximos de cinco, produzindo altos coeficientes de variação entre todos os corpos-de-prova.

Nota-se também que as médias gerais das notas, nas seis árvores foram de 2,3; 2,3 e 1,8 para as regiões central, intermediária e externa,

respectivamente. A média geral foi de 2,1 valor este que pode ser considerado como ótimo desempenho na operação de desempenho do eucalipto, uma vez que o mogno e a imbuia receberam médias de 1,5 e de 3,1, respectivamente. Este fato é comprovado pela presença do maior número de corpos-de-prova que obtiveram notas entre 1 e 2 (Anexo 9.3).

Quadro 33. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de desempenho.

Média geral por região (notas)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
2,3	2,3	1,8	61,3	61,3	67,6

Pelo Anexo 9.2, pode-se observar através da análise de variância que não houve diferença significativa, a 5% de significância, entre as médias, nas regiões radiais, para a operação de desempenho na face do corpo-de-prova.

A região intermediária apresentou uma distribuição uniforme das notas para o desempenho entre um e quatro, para as diferentes árvores (Anexo 9.3). Os coeficientes de variação foram elevados, para as três regiões radiais, demonstrando a variabilidade das notas atribuídas pelos diferentes avaliadores. O valor médio do coeficiente de variação foi de 61%.

4.6.2. Desengrosso

Executado na face oposta à operação de desempenho, o desengrosso apresentou distribuição das médias mais homogênea entre os corpos-de-prova testados para as seis árvores e regiões radiais (Anexo 9.5). Este fato pode ser atribuído a algumas características construtivas da máquina utilizada, sendo possível citar a presença de dispositivos como rolos pressores e condutores que, respectivamente, reduzem vibrações da peça e produzem velocidade de avanço aproximadamente constante. Este último, conforme já exposto, elimina uma variável atribuída para a qualificação da usinagem.

Pelo Quadro 34, observa-se que os valores médios de cada região radial são inferiores à operação de desempenho, mostrando também uma atividade bem sucedida para o eucalipto, cuja média geral foi de 1,5. Comparativamente, encontrou-se valores de 1,3 e 2,9 para o mogno e a imbuia, respectivamente.

Quadro 34. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de desengrosso.

Média geral por região (notas)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1,6	1,6	1,3	64,4	58,5	49,9

Confrontando-se os valores, calculados e medidos, de avanço por dente para as operações de desempenho e desengrosso, observa-se uma igualdade nas suas magnitudes. Contudo, as notas dos avaliadores mostraram diferenças entre todas as três regiões radiais, bem como para as médias gerais entre essas operações. Este fato mostra que o valor de avanço por dente não é suficiente para caracterizar a qualidade da superfície da madeira usinada, quer seja de forma calculada ou medida com uso de rugosímetros.

Através da análise de variância (Anexo 9.4) observa-se que não houve diferença significativa, a 5% de significância, entre as médias, nas regiões radiais.

Os coeficientes de variação para o teste de desengrosso na face são também altos. A explicação é semelhante à operação de desempenho, observando poucos corpos-de-prova que receberam notas altas.

4.6.3. Moldura axial “parada”

Com intuito de melhorar o aspecto de um determinado produto, alterando as linhas retas por diversos desenhos, embelezando o produto final, a operação de moldura axial é grandemente difundida pelos designers. Ela representa os perfis executados ao longo das fibras com uso de uma tupia de

mesa em um dos cantos das peças de madeira, sendo encontrada em móveis, portas, janelas e outros artefatos utilizados na construção civil. Observa-se nessa operação notas obtidas mais altas que as operações anteriores, onde nenhum corpo-de-prova recebeu nota inferior a dois e a máxima nota foi sete (Anexo 9.7 e 9.8). Estes altos valores encontrados foram devidos que, a moldura axial foi realizada de forma “parada”, isto é, após a introdução do corpo-de-prova na máquina, executava-se a usinagem por uma certa distância e retirava-se este corpo-de-prova sem que o mesmo atingisse seu final. Este procedimento promoveu geração de tensões de lasqueamento no ponto de saída. A presença do lasqueamento induzia a formação do perfil incompleto, fato que já conduzia a atribuição de nota quatro no mínimo, conforme descrito no item 3.6.2. Na prática, quando se deseja executar esse tipo de operação parada deve-se utilizar uma máquina que possua, pelo menos, dois eixos sendo que a usinagem é executada no mesmo plano e direção, mas em sentidos opostos.

As médias obtidas, para a operação de moldura axial “parada” encontram-se no Quadro 35. Na média geral, para todas as regiões radiais, esta operação obteve, para o eucalipto, média igual a 5,0. Comparativamente, ao mogno e à imbuia, que obtiveram valores médios de, respectivamente, 4,5 e 3,8, o eucalipto apresentou desempenho de forma satisfatória.

Quadro 35. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de moldura axial “parada”.

Média geral por região (notas)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
4,2	5,2	5,5	28,4	23,0	18,5

Pelo Anexo 9.8, observou-se que a distribuição geral das médias para as diferentes regiões mostra que, com exceção da árvore três, as notas obtidas para a região central estão entre três e quatro. Já para as regiões intermediária e externa o valor está igualmente distribuído entre as notas quatro e sete.

Através da análise de variância, presente no Anexo 9.9, observou-se que existe diferença significativa, a 5% de significância, entre as regiões radiais para a operação de moldura axial “parada”. Na Figura 50 encontra-se ilustrada a tendência de variação e a comparação múltipla entre as regiões radiais. Observou-se que a região central diferiu das demais regiões e produziu a menor média, indicando melhor qualidade para a operação de moldura axial “parada”.

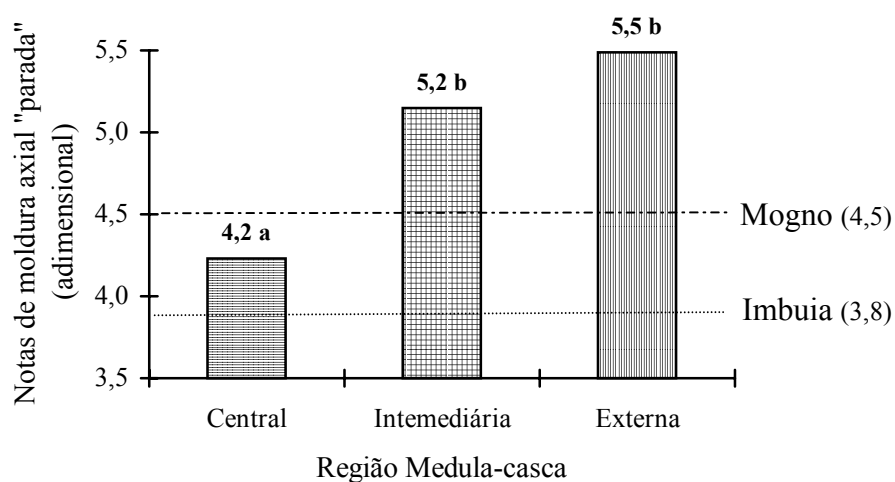


Figura 50. Distribuição e comparação múltipla das médias das notas atribuídas para a operação de moldura axial “parada”, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

4.6.4. Moldura no topo

Da mesma forma que a moldura axial, é comum encontrar a necessidade de realizar moldura nas extremidades das peças. Esta operação é, sem dúvida, mais delicada que a anterior em razão da orientação dos esforços de corte frente a disposição das fibras. No Quadro 36 encontram-se os resultados médios obtidos para as notas atribuídas para a operação de confecção de

moldura no topo da madeira. Observa-se pelas médias que existe tendência decrescente da medula para a casca.

Quadro 36. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de moldura no topo.

Média geral por região (notas)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
4,3	2,9	2,5	16,2	29,2	24,4

A média geral do eucalipto, para a operação de moldura no topo, foi de 3,2, mostrando qualidade, da moldura no topo, inferior ao mogno e à imbuia as quais receberam, em média, notas de 1,7 e 2,3, respectivamente.

A análise de variância (Anexo 9.4), demonstra a diferença estatística, a 5% de significância, para as diferentes regiões radiais. Na Figura 51 encontra-se ilustrada a tendência decrescente observada e a comparação múltipla das médias para as regiões radiais. A região externa obteve, em média, a menor nota mostrando-se melhor qualidade para a operação de moldura no topo.

Pelo Anexo 9.11 pode-se observar que, com exceção da árvore um, a distribuição das notas para a região externa ocorreu entre as notas dois e três. Em seguida nota-se a presença da região intermediária mais próxima da região externa, com notas mais frequentes entre dois e quatro. Já a região central recebeu maior quantidade de notas entre três e cinco, mas com maior frequência entre quatro e cinco, mostrando-se de pior qualidade para a operação de usinagem em questão. Através da análise geral dos dados, verificou-se que os valores mínimos e máximos, de dois e cinco, foram igualmente encontrados nas três regiões.

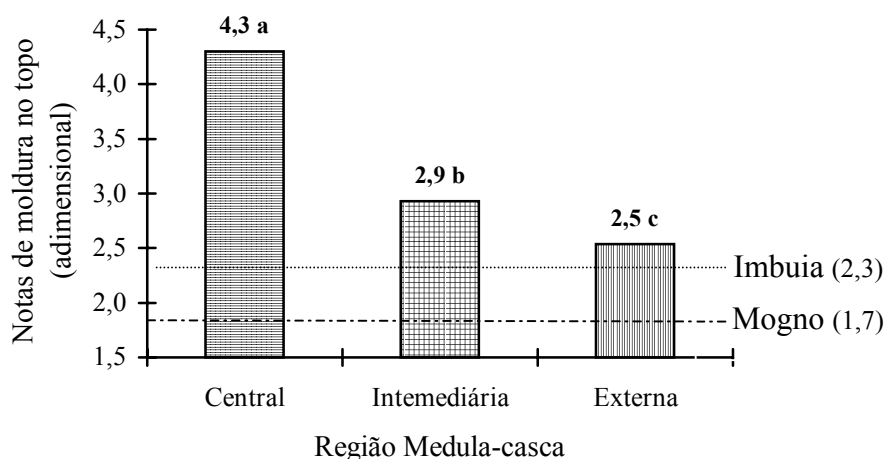


Figura 51. Distribuição e comparação múltipla das médias das notas atribuídas para a operação de moldura no topo, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

4.6.5. Perfilagem axial sinuosa com faca plana

Conforme mencionado no item 3.6 (Figura 24) a operação de perfilagem axial com faca plana foi executada numa curva sinuosa ao longo da grã. A atribuição das notas foi estabelecida apenas na região de usinagem contra as fibras, isto é, na região da perfilagem em curva ascendente, pois nas demais regiões, o resultado assemelha-se ao encontrado na operação de desempenho. Essas condições estabelecidas forneceram condições de corte não adequadas e apresentaram avaliações rígidas para a superfície usinada, com intuito de avaliar o verdadeiro potencial da usinabilidade da madeira do eucalipto, em comparação ao mogno e imbuia. Os resultados gerais obtidos e os coeficientes de variação encontram-se listados no Quadro 37.

Quadro 37. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de perfilagem axial com faca plana.

Média geral por região (notas)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
3,0	3,6	4,2	38,5	36,6	32,3

A média geral da perfilagem axial do eucalipto foi de 3,6, podendo ser considerado de pior qualidade se comparada à imbuia, que obteve valores baixos de, em média 1,3, apresentando excelentes qualidades desta usinagem.

No Anexo 9.9, encontra-se o resumo da análise de variância, onde se pode verificar a diferença estatística, a 5% de significância, para as diferentes regiões radiais. A Figura 52 mostra a magnitude da variação existente entre as regiões radiais e a comparação múltipla entre as médias obtidas.

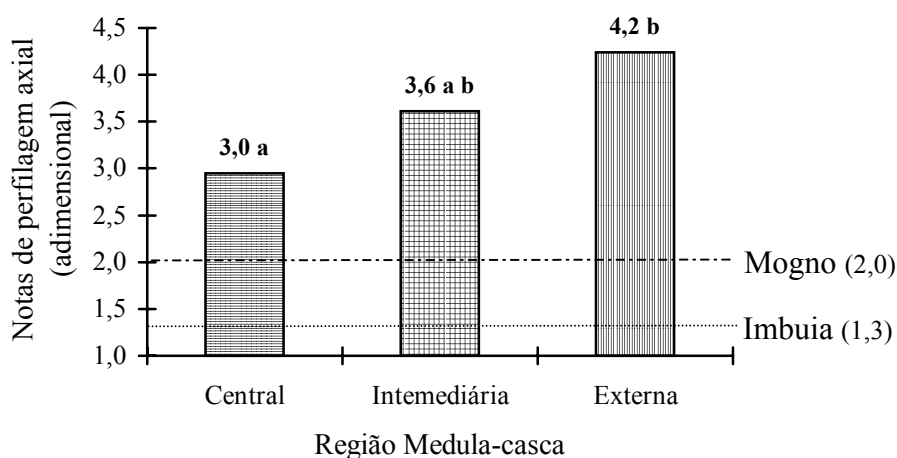


Figura 52. Distribuição e comparação múltipla das médias das notas atribuídas para a operação de perfilagem axial sinuosa com faca plana, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Pelos Anexos 9.12 e 9.13, pode-se observar que a distribuição das notas para a região externa foi a mais dispersa, igualmente para as seis árvores, tendo valores das notas entre dois a seis. A região central se comportou de

forma menos dispersa e que, com exceção da árvore um, obteve notas entre dois e três, assemelhando-se às notas atribuídas ao mogno (2,0).

4.6.6. Rasgo na furadeira horizontal

Os resultados médios obtidos para a operação de rasgo na furadeira horizontal e os seus respectivos coeficientes de variação encontram-se listados no Quadro 38.

Quadro 38. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de rasgo na furadeira horizontal.

Média geral por região (notas)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
2,6	3,3	2,9	21,8	23,5	26,7

Através da análise de variância (Anexo 9.14) verificou-se diferença estatística, a 5% de significância, entre as diferentes regiões radiais, para a operação de rasgo. A Figura 53 ilustra a tendência observada e a comparação múltipla entre as regiões radiais, onde se observa a região central com melhor qualidade, isto é, possui a menor nota média obtida, diferindo-se da região intermediária, que apresentou, em média, notas mais altas.

Nos Anexos 9.15 e 9.16 encontra-se ilustrado a distribuição das notas média dos avaliadores para todos os corpos-de-prova usados. Pode-se observar que existe uma clara diferença entre a região central, que compreende notas entre dois e três, e as regiões intermediária e externa, com notas entre dois e cinco.

A média geral entre as regiões obtida para o eucalipto frente a operação de rasgo na furadeira horizontal foi de 2,9. Comparativamente aos valores encontrados para mogno e imbuia, que foram de 3,2 e de 2,4, respectivamente, pode-se enquadrar a madeira do eucalipto como apta para a operação em questão.

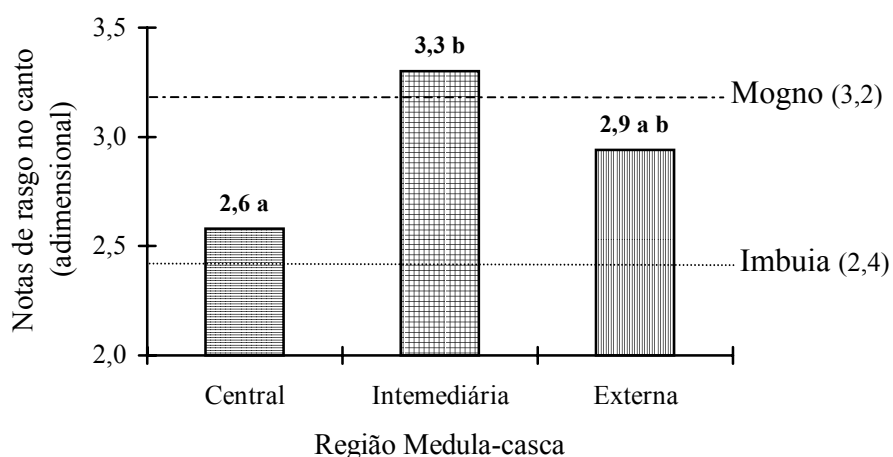


Figura 53. Distribuição e comparação múltipla das médias das notas atribuídas para a operação de rasgo no canto, executado na furadeira horizontal, em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

4.6.7. Fresagens axial e transversal na tupia superior

Através da confecção de um retângulo na face dos corpos-de-prova e utilizando-se uma tupia superior executou-se o teste de fresagem axial e transversal de forma contínua. Os resultados médios das notas atribuídas, bem como os respectivos coeficientes de variação, encontram-se no Quadro 39. Observou-se uma grande semelhança dos valores médios para as três regiões, indicando ser uma operação homogênea. A análise de variância foi não significativa, a 5% de significância, entre as regiões (Anexo 9.9).

Quadro 39. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de fresagem axial e transversal.

Média geral por região (notas)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
3,9	3,9	3,8	27,2	20,9	22,7

A média geral para o eucalipto foi de 3,9, podendo ser considerado de qualidade inferior frente a fresagem superior, quando comparado ao mogno e à imbuia que receberam notas de 2,9. Pela distribuição geral das notas médias, atribuídas pelos avaliadores, para todos os corpos-de-prova (Anexos 9.17 e 9.18), pode-se observar, com maior nitidez, a semelhança entre o comportamento das três regiões radiais, com notas entre dois e cinco.

4.6.8. Furação para cavilhas

O processo de furação para a colocação de cavilhas foi executado em uma furadeira vertical. Os resultados médios das notas atribuídas e os respectivos coeficientes de variação encontram-se no Quadro 40. Da mesma forma que o ocorrido na operação de fresagem, observou-se uma homogeneidade entre os dados para as três regiões, que também apresentaram pequena variação.

Quadro 40. Valores médios (notas) e coeficientes de variação (%), para a operação de furação para cavilha.

Média geral por região (notas)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
4,2	4,5	4,3	14,1	12,2	14,0

A análise de variância para a furação de cavilhas não detectou diferença significativa, a 5% de significância, entre as regiões (Anexo 9.14). Comparativamente ao mogno e à imbuia, que receberam notas médias de 2,4 e 2,2 respectivamente, verificou-se que o eucalipto possui uma qualidade inferior para a operação em questão, sendo atribuídas, em média, notas de 4,2; 4,5 e 4,3 para as regiões central, intermediária e externa, respectivamente.

Através da análise conjunta dos coeficientes de variação e dos Anexos 9.19 e 9.20, observou-se que não existe uma única tendência para as regiões radiais e as árvores amostradas. A região intermediária gerou, em

média, o menor coeficiente de variação (12,22%) mostrando que para a maioria dos corpos-de-prova, as notas atribuídas foram próximas a 4,8.

4.6.9. Furação para dobradiça

Semelhante à operação anterior, a furação para dobradiça, também foi executada na face dos corpos-de-prova por uma furadeira vertical. Sua avaliação foi através do cálculo do índice de arrancamento das fibras, ponderando os máximos valores dos comprimentos, pelos gradientes de área, de volumes e de profundidade encontrados. Os valores médios dos índices de arrancamento, em milímetros, bem como os respectivos coeficientes de variação (%) encontram-se no Quadro 41.

Quadro 41. Valores médios (mm) e coeficientes de variação (%) para a operação de furação para dobradiça.

Média geral por região (mm)			CV (%), por região		
Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
0,51	0,38	0,32	50,3	56,1	64,3

Através da análise de variância para a furação de dobradiça (Anexo 9.9) verificou-se que existe diferença estatística a 5% de significância para o fator região radial. Na Figura 54 encontra-se ilustrada a variação observada e a comparação múltipla entre as médias das diferentes regiões. Observa-se que a região central apresentou o pior desempenho nesta operação.

Pelos anexos 9.21 e 9.22 observa-se que a região externa mostrou uma distribuição com maior concentração das médias entre 0,2 e 0,4 mm se assemelhando à média do mogno (0,2 mm). Contudo, pode-se observar também o alto coeficiente de variação, devido a poucos corpos-de-prova que obtiveram médias altas. Já a região central apresenta de forma mais dispersa para as seis árvores.

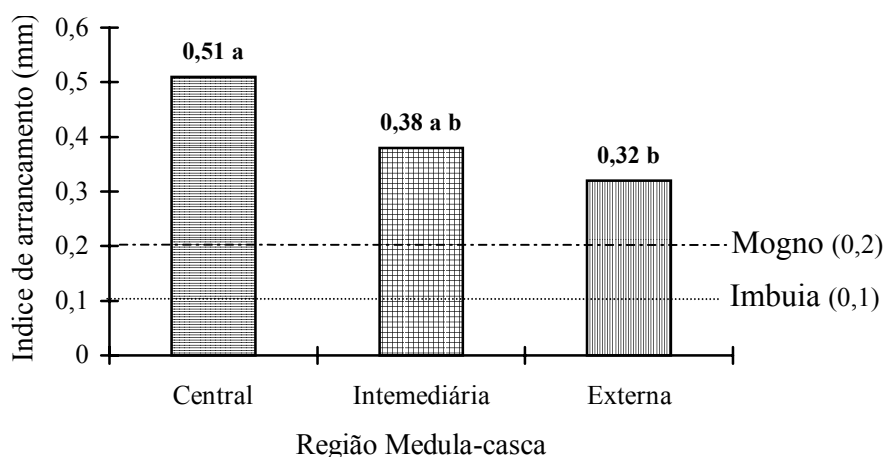


Figura 54. Distribuição e comparação múltipla das médias dos índices de arrancamentos de fibras, em mm, durante a operação de furação para dobradiça, executado na furadeira vertical em função da região medula-casca. Médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os valores médios encontrados para a imbuia, frente à operação de furação para dobradiça, foram de 0,1 mm, indicando que o eucalipto possui uma madeira que merece reavaliação das condições de execução desta operação.

4.7. ADERÊNCIA NO ACABAMENTO SUPERFICIAL

Um dos grandes problemas encontrados pela indústria da madeira é o deslocamento do produto acabamento (vernizes). A boa ancoragem de um produto sobre um substrato depende das características isoladas de cada parte, bem como do preparo executado sobre o substrato, permitindo um íntimo contato entre as partes (Silva et al., 1999). O teste de aderência do verniz sobre corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* executado neste trabalho visou verificar a capacidade de ancoragem, podendo prever a qualidade do acabamento. Os resultados médios das notas atribuídas pelos avaliadores e os coeficientes de variação para a aderência do verniz na intersecção e ao longo

das incisões cruzadas encontram-se no Quadro 42. Os valores obtidos são considerados baixos, com médias gerais muito próximas entre as regiões radiais, contudo observa-se uma tendência crescente no sentido medula-casca.

Quadro 42. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a aderência do verniz na intersecção e ao longo das incisões cruzadas.

Aderência do verniz	Média por região			CV (%) por região		
	Cent.	Inter.	Ext.	Cent.	Inter.	Ext.
Na intersecção das incisões	0,29	0,33	0,37	171,2	160,0	135,9
Ao longo das incisões	0,63	0,88	0,78	106,1	81,3	79,9

Cent.; Inter. e Ext. representam as regiões central, intermediária e externa, respectivamente

As análises de variância para a aderência do verniz na intersecção e ao longo das incisões, a 5% de significância, não foram significativas (Anexos 10.1). Pode-se atribuir tal situação a dois fatores básicos. O primeiro fator diz respeito aos passos seguidos na preparação da superfície dos corpos-de-prova para receber o verniz, que englobaram secagem das tábuas, tempo de estabilização ao ambiente de trabalho, uso correto de lixas, limpeza, preparo dos produtos e aplicação. O segundo fator que merece destaque é a qualidade do produto utilizado, que mostrou uma ótima performance.

Analisando os dados gerais observaram-se notas iguais a zero para a aderência, igualmente nas regiões radiais. Cabe salientar que menores valores das notas representam menores arrancamentos da película do verniz e, conseqüentemente, melhor aderência do acabamento.

4.8. ESTUDO DAS CORRELAÇÕES ENTRE AS OPERAÇÕES DE USINAGEM E ADERÊNCIA DO VERNIZ COM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

A relação existente entre as variáveis através das análises de correlações foi baseada no modelo matemático da forma linear, $y_i = a + bx_i + e_i$ (correlação de Pearson). O y , variável dependente, representou as diferentes operações de usinagem ou as aderências do verniz. O x , variável independente, foi representada isoladamente pelas propriedades anatômicas, físicas ou químicas avaliadas. Cabe salientar que a natureza dos valores de notas atribuídas, tanto para as superfícies usinadas como para a aderência do verniz, apresentou-se inversamente relacionadas com a qualidade da superfície obtida, isto é, altas notas atribuídas referiram-se a atributos de baixas qualidades.

4.8.1. Correlações com as características das fibras

No Quadro 43 encontram-se os resultados obtidos para as correlações de Pearson entre as operações de usinagens e as aderências do verniz com as características das fibras. Verificou-se que as operações de desempenho, de desengrosso, de rasgo na furadeira horizontal, de fresagem axial e transversal e de furação para dobradiça não apresentaram correlações significativas com as características das fibras. De modo geral, estas correlações encontradas foram baixas.

No gráfico de tendências presente no Anexo 11.1, podem ser vistas as correlações significativas entre as operações de usinagem e as características das fibras. Pelo Anexo 11.1-a, observa-se que as notas atribuídas para a moldura no topo apresentaram correlação negativa com o comprimento das fibras. Este fato que pode ser explicado pela distribuição das fibras na madeira que afeta a forma de contato com o gume de corte da fresa. A presença de fibras com maior comprimento evita seu brusco arrancamento, com possível formação de buracos ou arrepiamentos, pois a zona de ataque da ferramenta age diretamente no topo, tendo o diâmetro ou sua extremidade

(ponta afilada) como o ponto de corte ou de arrancamento. A região externa possui, em média, maior valor para o comprimento das fibras e conseqüentemente melhor qualidade para a moldura no topo.

Quadro 43. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características das fibras.

Tipo de operação	Comprimento	Diâmetro Externo	Diâmetro Interno	Espessura de parede	Fração de parede	Índice de Esbeltez
Dp	-0,0589	0,1803	0,2908	-0,2499	-0,3395	-0,1915
Dg	-0,0006	0,0204	0,0559	-0,0635	-0,0914	-0,0604
Ma	0,1933	0,1905	-0,1305	0,4984*	0,3190	0,0817
Mt	-0,4518*	0,0412	0,4031*	-0,6936*	-0,5797*	-0,2080
Pa	0,5601*	-0,1090	-0,1090	0,4990*	0,1575	0,1706
Rg	0,1431	-0,2026	-0,1869	0,0670	0,1342	0,2417
Fa/Ft	0,0102	0,2152	0,2399	-0,1345	-0,2175	-0,1292
Fc	0,4409*	0,2294	0,2159	-0,0824	-0,1853	0,1664
Fd	0,1537	0,3197	0,3547	-0,1971	-0,3160	-0,0241
Y	-0,1074	-0,3422	-0,4923*	0,3915*	0,5083*	0,0973
X	-0,1970	-0,0150	-0,1500	0,3914*	0,3700*	-0,1693

Dp = desempenho; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha; Fd = furação para dobradiça; Y = aderência na intersecção das incisões e X = aderência ao longo das incisões.

* = significativo a 5% de significância.

Ao almejar minimizar os efeitos dos arrancamentos das fibras deve-se utilizar velocidades de corte mais altas, que facilitam as incisões das fibras. Contudo é necessário dimensionar as ferramentas de corte e estabelecer velocidades de avanço condizentes para evitar a raspagem que geram queimaduras de superfícies. Outro fator que merece destaque é a qualidade do fio de corte da ferramenta, pois quanto mais afiado, melhor será o corte.

As notas atribuídas para a perfilagem axial (Anexo 11.1-b) apresentaram correlação positiva (Quadro 43) com o comprimento das fibras, indicando que quanto mais longa a fibra maior será a nota atribuída e, conseqüentemente, pior será a qualidade da superfície usinada. O ponto

inicial de contato da ferramenta nesta operação também é o diâmetro das fibras. Contudo, devido ao sentido de avanço axial do corpo-de-prova, observa-se que o comprimento da fibra fica totalmente liberado, facilitando o seu arrancamento. As depressões formadas são tão maiores quanto maiores os comprimentos, que refletem em baixas qualidades da superfície. Semelhante ao resultado anterior, a otimização das velocidades de corte e de avanço das peças e as condições do gume de corte da ferramenta afetam positivamente na incisão das fibras, reduzindo os arrancamentos.

Uma correlação positiva pode ser observada entre as notas atribuídas para a furação para cavilha e o comprimento das fibras (Quadro 43) e sua tendência ilustrada no Anexo 11.1-c. Pequenos diâmetros das ferramentas e baixas frequências de rotação produziram baixíssimas velocidades de corte. Estas condições tornaram os arrepiamentos mais evidentes que as incisões das fibras. É de fácil compreensão que quanto maior o comprimento da fibra maior a possibilidade de levantamento após sua incisão, principalmente, se as velocidades de corte forem baixas e tendo a operação de furação executada na face do corpo-de-prova.

Pelo Quadro 43 e Anexo 11.1-d observa-se que a medida que o valor da nota atribuída à moldura no topo aumenta, o diâmetro interno das fibras também aumenta e, conseqüentemente a qualidade da superfície obtida diminui. Esta tendência pode ser entendida pela presença de lumes maiores das células que após o corte apresentam-se como pequenos buracos. Esses dados são corroborados com a variação dos diâmetros internos e da qualidade da moldura no topo entre as regiões radiais. Tais variações mostraram que a região central possuía diâmetros internos maiores e também piores qualidades para a operação em questão.

A correlação positiva entre as notas atribuídas para a moldura axial “parada” e a espessura de parede (Quadro 43 e Anexo 11.1-e) não está de acordo com literatura pertinente, que prever melhoria da usinagem com aumento da espessura da parede, pois esta característica estaria diretamente ligada ao aumento massa específica. Contudo, a variação da espessura foi acompanhada de aumento no comprimento da fibra, o que possibilita a separação entre porções de fibras mais facilmente, isto é, a madeira atinge

condições de pré-clivagem, tão logo se inicia a usinagem e sua magnitude é tão maior quanto maior a dimensão da fibra. Através dos critérios de avaliação dos corpos-de-prova, verifica-se que a presença de perfil incompleto, que é diretamente proporcional a pré-clivagem, foi determinante na baixa qualidade desta operação de usinagem, através das altas notas atribuídas.

O aumento da espessura de parede foi causado, simultaneamente, pelo aumento do diâmetro externo e redução do diâmetro interno. A correlação negativa entre as notas atribuídas para a operação de moldura no topo e a espessura da parede pode ser observada no Quadro 43 e sua tendência no Anexo 11.1-f. O entendimento deste comportamento se baseou no fato de que as fibras com paredes mais espessas apresentaram melhores aspectos de cortes, pois elas não são amassadas ou parcialmente cortadas, deixando pedaços de paredes. Além disto, após o corte, a superfície usinada apresentou “buracos” menores pela presença de diâmetros internos (lumes) com pequenas dimensões.

A correlação positiva entre a nota atribuída à perfilagem axial sinuosa e a espessura de parede encontra-se no Quadro 43. Sua tendência está apresentada no Anexo 11.1-g. Semelhante à correlação com a moldura axial “parada”, esse resultado também não está de acordo com literatura pertinente, ligada à variação da massa específica. Contudo, os mesmos critérios podem ser considerados, principalmente pelo fato da usinagem ter sido executada e avaliada na curva ascendente contra as fibras, que facilitam ainda mais a pré-clivagem. Cabe salientar que, quanto maiores as dimensões das fibras, maior a indução da pré-clivagem. Neste sentido, pode-se relatar que um corpo-de-prova da região externa, que possuía maiores dimensões médias das fibras, rachou-se completamente na região citada.

No Quadro 43 encontra-se a correlação negativa entre as notas atribuídas à operação de moldura no topo e a fração parede. Sua tendência gráfica está ilustrada no Anexo 11.1-h. Ela vem corroborar com a correlação da espessura de parede com a mesma operação, principalmente se considerarmos que a fração parede é um reflexo direto das variações conjuntas dos diâmetros externos e internos.

As tendências gráficas das correlações significativas entre as aderências do verniz e as características das fibras encontram-se no Anexo 11.2. Verifica-se a correlação negativa entre as notas atribuídas à aderência do verniz na intersecção das incisões e o diâmetro interno (Quadro 43 e Anexo 11.2-a). É de fundamental importância, perceber que durante o preparo das superfícies, o processo de lixamento tende a cortar porções salientes das fibras e que às vezes expõem as cavidades internas. A presença dessas cavidades (pequenos sulcos), representada pelos lumes na direção axial, permite uma ancoragem do produto de acabamento, melhorando a aderência do verniz. Cabe salientar que as dimensões dos sulcos não devem ser muito grandes, pois caso contrário, afetará negativamente a qualidade da superfície.

As correlações positivas entre as notas atribuídas às aderências do verniz com as espessuras de parede e com as frações parede (Quadro 43 e Anexos 11.2-b, 11.2-c, 11.2-d, 11.2-e) podem ser explicadas considerando-se o mesmo raciocínio anterior. A presença de maiores porções de parede reduz a possibilidade da liberação dos pequenos sulcos após o lixamento, pois possuem maior quantidade de material a ser desbastado, dificultando a ancoragem do verniz.

4.8.2. Correlações com as características dos vasos

No Quadro 44 encontram-se os resultados obtidos para as correlações de Pearson, estabelecidos entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características dos vasos. Verificou-se que as operações de desempenho, de desengrosso, de perfilagem axial, de rasgo na furadeira horizontal, de fresagem axial e transversal, de furação para cavilha e para dobradiça e as aderências na intersecção e ao longo das incisões não apresentaram correlações significativas com as características dos vasos. No Anexo 11.3 encontram-se ilustradas as tendências significativas. De modo geral, as correlações apresentaram magnitudes bem baixas.

Quadro 44. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características dos vasos.

Tipo de operação	Número por milímetro quadrado	Percentual da área ocupada	Diâmetro tangencial
Dp	0,3121	0,3192	-0,2576
Dg	0,2261	-0,0078	-0,3406
Ma	-0,8040*	-0,0729	0,5908*
Mt	0,6715*	-0,0643	-0,7393*
Pa	-0,2987	0,2409	0,1758
Rg	0,0683	0,1079	0,0549
Fa/Ft	0,1080	0,2965	-0,1618
Fc	-0,1112	0,0208	0,1633
Fd	0,0917	0,0027	-0,2114
Y	-0,0404	-0,2853	0,0224
X	-0,0417	-0,2617	-0,1088

Dp = desempenho; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha; Fd = furação para dobradiça; Y = aderência na intersecção das incisões e X = aderência ao longo das incisões.

* = significativo a 5% de significância.

Para as notas atribuídas à operação de moldura axial “parada” verificaram-se duas correlações significativas. A primeira foi negativa com o número de vasos por milímetro quadrado (Quadro 44 e Anexo 11.3-a). A segunda foi positiva com os diâmetros dos vasos (Quadro 44 e Anexo 11.3-b). Essas correlações opostas se devem ao fato de que à medida que o número de vasos aumenta, suas dimensões diminuem, fato comprovado no trabalho de Cruz (2000). Se o número de vasos presente é baixo, seus diâmetros são maiores então, a possibilidade da madeira atingir a pré-clivagem, no momento da usinagem é maior. A magnitude é tão maior quanto maior a dimensão dos vasos, mostrando correlação negativa com a qualidade da usinagem. Caso as propriedades sejam inversas, isto é maior quantidade de vasos com menores diâmetros, a qualidade obtida é melhor, indicando uma correlação positiva com essa.

As notas atribuídas à moldura no topo também obtiveram duas correlações significativas com o número e com o diâmetro tangencial dos vasos. Contudo, elas se apresentaram de maneira inversa, sendo positiva com

o número de vasos (Quadro 44 e Anexo 11.3-c) e negativa com o seu diâmetro (Quadro 44 e Anexo 11.3-d). A primeira correlação pode ser explicada pela ocupação de outras células, ou melhor, parede de células em espaços que seriam destinados aos vasos, que representariam simplesmente espaços vazios. Esses espaços, quando presente, tendem a dificultar as incisões por falta de apoio contra o gume de corte das ferramentas. O resultado da segunda correlação pode ser considerado surpreendente, pois a presença de grandes vasos induz a formação da imagem da superfície com pior qualidade, em função da presença de grandes “buracos”. É importante salientar que as condições de corte para a moldura no topo são opostas aquelas empregadas nas confecções de molduras axiais, não sendo observada a indução de pré-clivagem.

4.8.3. Correlações com as características do parênquima radial

No Quadro 45 encontram-se os resultados obtidos para as correlações de Pearson estabelecidos entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características do parênquima radial. Verificou-se que as operações de desempenho, de desengrosso, de moldura axial “parada”, de perfilagem axial e de furação para dobradiça e as aderências na intersecção e ao longo das incisões não apresentaram correlações significativas para as características do parênquima radial.

No Anexo 11.4 apresenta-se a ilustração gráfica das correlações significativas encontradas entre o parênquima radial e as qualidades das usinagens executadas. Baseado na estrutura anatômica e na composição química dos raios não se pôde estabelecer uma explicação para tais correlações. Um outro fator que dificulta a detecção das prováveis respostas é a falta de separação das faces radiais e tangenciais de cada corpo-de-prova para a realização das operações de usinagem, isto é, não se puderam prever o sentido e a direção dos raios em relação às arestas de qualificação da superfície.

Quadro 45. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características do parênquima radial.

Tipo de operação	Número por milímetro	Altura		Largura	
		Total	por célula	total	por célula
Dp	-0,2433	0,0911	0,0410	-0,2863	-0,0282
Dg	-0,0262	-0,1054	-0,1324	-0,2320	-0,1132
Ma	-0,0326	0,2571	0,0015	0,0836	-0,1252
Mt	0,1143	-0,2865	-0,4736*	-0,1193	0,2699
Pa	-0,2948	0,3712	0,3552	-0,1656	-0,1850
Rg	-0,4810*	0,0291	0,5346*	-0,4114*	-0,1705
Fa/Ft	-0,3168	-0,0809	-0,0002	-0,5357*	-0,4693*
Fc	-0,2962	0,1214	-0,2012	-0,4444*	-0,1875
Fd	-0,0451	0,1322	-0,1423	-0,2628	0,0287
Y	0,0570	0,0528	-0,0448	0,3351	0,0252
X	-0,1591	-0,0927	-0,1910	0,1444	-0,0095

Dp = desempenho; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha; Fd = furação para dobradiça; Y = aderência na intersecção das incisões e X = aderência ao longo das incisões.

* = significativo a 5% de significância.

4.8.4. Correlações com o ângulo da grã

Na maioria das literaturas ligadas ao uso de madeira são encontradas citações que mostram grande influência da grã na trabalhabilidade da madeira. Contudo os resultados obtidos, através das correlações, apresentam apenas as influências com a qualidade do rasgo na furadeira horizontal (Quadro 46). Conforme mencionado no item 4.3.4, a dificuldade da medição do ângulo da grã pode mostrar resultados que não refletem a totalidade da variação deste parâmetro, explicando em parte os resultados encontrados.

Os baixos valores encontrados, para as correlações com a qualidade da moldura no topo e da furação para cavilha e para dobradiça, devem-se ao fato dessas operações terem sido realizadas na região transversal dos corpos-de-prova, não sofrendo influência direta da grã. Nos testes de aderência do verniz também se observaram valores baixos e não significativos. Estes

resultados foram devidos à qualidade da superfície preparada para ancorar o verniz, que restringem ou eliminam os efeitos do ângulo da grã.

Quadro 46. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com o ângulo da grã.

Tipo de operação	Ângulo da grã
Dp	-0,0897
Dg	-0,2227
Ma	0,2040
Mt	0,0636
Pa	-0,2292
Rg	-0,5065*
Fa/Ft	-0,2114
Fc	0,0125
Fd	-0,0747
Y	0,1078
X	0,0929

Dp = desempenho; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha; Fd = furação para dobradiça; Y = aderência na intersecção das incisões e X = aderência ao longo das incisões.

* = significativo a 5% de significância.

No Anexo 11.5. encontra-se a ilustração gráfica da correlação significativa entre a operação de rasgo na furadeira horizontal e o ângulo da grã. Pode ser observado que embora tenha obtido uma correlação de 0,5056 entre as variáveis, a distribuição gráfica das notas atribuídas é muito dispersa, para variações do ângulo da grã entre 0 e 4°. Apenas um corpo-de-prova apresentou ângulo da grã próximo a 6°, sendo, aparentemente, responsável pelo melhor ajuste do modelo linear e sua exclusão torna a correlação não significativa.

4.8.5. Correlações com os percentuais de tecido por tipo de célula

No Quadro 47 encontram-se os resultados obtidos para as correlações de Pearson estabelecidas entre as operações de usinagem e as aderências do

verniz com os percentuais de composição de tecido por tipo de célula. Verificou-se que as operações de desempenho, de desengrosso, de fresagem axial e transversal e de furação para cavilha e para dobradiça não apresentaram correlações significativas para as características em questão. No Anexo 11.6 apresenta-se a ilustração gráfica das correlações significativas encontradas.

Quadro 47. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com os percentuais de composição do tecidos por tipo de células.

Tipo de operação	Percentual de ocupação do tecidos por tipo de células			
	Fibras	Vasos	Parênquimas	
			Radial	Axial
Dp	-0,0624	0,1966	-0,3263	0,1301
Dg	0,3004	-0,2366	-0,1757	-0,0217
Ma	0,1056	0,1940	0,0451	-0,5772*
Mt	-0,0372	-0,4599*	0,1122	0,6574*
Pa	-0,1576	0,4966*	-0,3174	-0,0898
Rg	0,1557	0,1534	-0,4841*	-0,0249
Fa/Ft	0,0000	0,3125	-0,3527	-0,0794
Fc	0,1225	0,0674	-0,3481	0,0255
Fd	0,1792	-0,1628	-0,1441	0,0454
Y	0,2131	-0,3981*	0,1081	0,0656
X	0,1871	-0,4400*	0,1812	0,0937

Dp = desempenho; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha; Fd = furação para dobradiça; Y = aderência na intersecção das incisões e X = aderência ao longo das incisões.

* = significativo a 5% de significância.

No Anexo 11.6-a encontra-se o gráfico ilustrativo da correlação negativa entre as notas atribuídas para a moldura axial “parada” e do percentual de células parenquimáticas dispostas axialmente no tecido da madeira. Aparentemente, o resultado obtido diferiu das citações bibliográficas que associam redução da massa específica com aumento do teor de parênquimas e, conseqüentemente, a presença destas células tende a mostrar piores qualidades de usinagem. Contudo, se basearmos na pré-clivagem poderemos observar que, uma vez iniciada, ela tende a ser impulsionada pela

presença das fibras, que define a região limite de rachadura ao longo de seu comprimento. Caso apresente células mais frágeis, de formato diferente e tamanho reduzido, que são as características das células de parênquima, a ferramenta de corte poderá produzir cavacos de menores dimensões, reduzindo a possibilidade do rachamento contínuo.

A correlação positiva entre as notas atribuídas para a operação de moldura no topo e o percentual de parênquima axial encontra-se no Quadro 47. Esta mesma correlação está ilustrada no Anexo 11.6-b. A maior presença de células parenquimatosas tornam piores as condições de corte devido às características intrínsecas de suas paredes. Poderá ser notada a presença de pedaços das células ou células amassadas, que resultam em qualidade inferior. Esses valores são corroborados com a variação do teor de parênquima axial da medula para a casca, que se mostrou com tendência decrescente, associada à piores qualidades da moldura de topo para a região central.

A correlação negativa (Quadro 47) entre as notas atribuídas para a moldura no topo e o percentual de vasos ocupando o tecido da madeira encontra-se ilustrada no Anexo 11.6-c. Se compararmos esse resultado com a correlação desta mesma operação e o número de vasos por milímetro quadrado, podemos observar direções opostas.

A correlação positiva entre as notas atribuídas para a perfilagem axial sinuosa com faca plana e o percentual de vasos que compõe o tecido da madeira encontra-se no Quadro 47 e ilustrada no Anexo 11.6-d. Pode-se, mais uma vez, creditar esse resultado à pré-clivagem. A presença de maior quantidade de vasos, que se apresentam na mesma direção das fibras tendem a facilitar o rachamento contínuo, após ter sido iniciada as incisões pelo gume da ferramenta. É importante ressaltar que a avaliação da qualidade da usinagem foi executada na curva ascendente contra as fibras. Estes aspectos são corroborados com o aumento do percentual de vasos na região externa, que apresentou um corpo-de-prova, que se rachou completamente, na região abordada.

A operação de rasgo tem característica peculiar que mostram duas usinagens diferentes nas arestas opostas do rasgo. A primeira se mostra discordante, a favor das fibras (deitando-as) e a segunda concordante, contra

as fibras (levantando-as). Devido ao movimento de vai e vem da ferramenta em relação à madeira estacionária, estas usinagens se invertem sistematicamente. Todas essas variantes resultaram qualidades bastante distintas nas duas arestas ao longo do raio. Notou-se melhor qualidade na aresta usinada da forma concordante. Este fato é devido a formação de cavacos com menores dimensões. Outro fator que merece destaque foi a baixa velocidade de corte empregada, de 5,09 m/s. Essa baixa velocidade induziu o pré-rachamento da madeira, que reduziu a qualidade, a qual estava também associada às grandes dimensões dos cavacos formados. A correlação negativa (Quadro 47) entre as notas atribuídas para a operação de rasgo na furadeira horizontal e o percentual de parênquima radial encontra-se ilustrada no Anexo 11.6-e. A presença das células de parênquima permite à ferramenta de corte produzir cavacos de menores dimensões e minimizar o pré-rachamento da madeira, mostrando que a presença de células de parênquima evitou o rachamento contínuo, reduzindo as dimensões dos cavacos, principalmente se considerarmos que as brocas possuem pequeno volume de armazenamento para os cavacos formados. Esses resultados podem ser corroborados pela variação, no sentido medula-casca, do número de raios por milímetro e dos percentuais dos parênquimas radial e axial. Para todas essas características, a região intermediária obteve valores mais baixos e a região central com valores mais altos. Além disto, as regiões intermediária e central foram consideradas, respectivamente, de pior e de melhor qualidade para a operação de rasgo na furadeira horizontal.

No Quadro 47 encontram-se as correlações negativas entre as notas atribuídas para as aderências do verniz na intersecção e ao longo das incisões com o percentual de vasos que compõe o tecido da madeira. As ilustrações gráficas destas correlações encontram-se, respectivamente, nos Anexos 11.6-f e 11.6-g. A presença dos sulcos axiais, representado pelos vasos, permitiu uma melhor ancoragem do verniz e conseqüentemente aumentou sua aderência à superfície do corpo-de-prova. Cabe salientar, mais uma vez, que as dimensões dos sulcos não devem ser muito grandes, pois caso contrário afetará negativamente a qualidade da superfície e, conseqüentemente, a aderência. Neste sentido, um bom preparo da superfície pode ser considerado

de fundamental importância, pois tende a eliminar os grandes sulcos e também tende a liberar o aparecimento dos sulcos menores.

4.8.6. Correlações com as propriedades físicas

No Quadro 48 encontram-se os resultados obtidos para as correlações de Pearson estabelecidas entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as propriedades físicas. Verificou-se que as operações de fresagem axial e transversal e as aderências na intersecção e ao longo das incisões não apresentaram correlações significativas para as características físicas analisadas.

Quadro 48. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as propriedades físicas.

Tipo de operação	Contrações totais (%)			Coeficiente de anisotropia	Massa específica básica (g/cm ³)
	Radiais	Tangenciais	Volumétricas		
Dp	0,1163	0,4612*	0,3300	0,2688	-0,2384
Dg	-0,0899	0,1721	0,0601	0,2591	-0,3630*
Ma	0,1557	-0,1790	-0,0399	-0,3173	0,3342*
Mt	-0,6496*	0,0437	-0,2764	0,6675*	-0,7613*
Pa	0,5764*	0,3939*	0,5966*	-0,3386	0,4843*
Rg	0,5228*	0,5693*	0,6027*	-0,0979	0,0776
Fa/Ft	0,2681	0,3586	0,3401	-0,0536	-0,1256
Fc	-0,0566	0,1947	0,0545	0,2307	-0,4727*
Fd	-0,2219	0,2431	0,0032	0,5301	-0,5089*
Y	-0,0150	-0,1332	-0,0532	-0,1013	0,2052
X	-0,1244	-0,0347	-0,0918	0,0839	-0,1141

Dp = desempenho; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha; Fd = furação para dobradiça; Y = aderência na intersecção das incisões e X = aderência ao longo das incisões.

* = significativo a 5% de significância.

Os percentuais das contrações lineares e volumétricas, se associadas a deformações e rachaduras, indicam o volume de material a ser desbastado durante as operações de usinagem para se obter peças no formato e dimensões desejadas. Eles são diretamente proporcionais ao volume de trabalho a ser executado. Aparentemente, pouca responsabilidade se pode atribuir às contrações pelas qualidades destas usinagens. Contudo se observarmos a variação das contrações e das operações de usinagem no sentido medula-casca, nota-se que o aumento nos percentuais das contrações estão associadas à redução das qualidades das usinagens, com exceção das correlações entre a qualidade do desempenho com a contração tangencial total e a qualidade da moldura no topo e a contração radial total. As correlações significativas entre as operações de usinagem e os percentuais de contrações encontram-se ilustradas no Anexo 11.7.

A relação entre as notas atribuídas para a moldura no topo e o coeficiente de anisotropia apresenta uma correlação positiva (Quadro 48 e Anexo 11.8-a). Conforme exposto acima sobre as contrações e devido a sua idealização matemática, fica também difícil estabelecer resposta para tal correlação.

As literaturas pertinentes a trabalhabilidade da madeira mencionam que a massa específica apresenta sempre correlações positivas com os processamentos da madeira. Contudo, foram encontrados dois grupos distintos de correlações, podendo ser positiva ou negativa entre a massa específica básica e as qualidades das operações de usinagem. Cabe salientar que, deve-se associar aumento da massa específica ao aumento dos esforços de usinagem, a redução da vida útil da ferramenta de corte, que é estabelecida pela distância usinada e ao aumento do ruído de usinagem.

As correlações negativas entre as notas atribuídas para as operações de desengrosso, de moldura no topo, de furação para cavilha e de furação para dobradiça encontram-se apresentadas no Quadro 48 e ilustradas nos Anexos 11.8-e, 11.8-b, 11.8-c e 11.8-d, respectivamente. As baixas massas específicas estão associadas à presença de tecidos lenhosos frágeis que se apresentam como superfícies aveludadas pelo arrancamento das células durante as usinagens, isto é, tendem a ocasionar baixas qualidades.

As correlações positivas entre as notas atribuídas para as operações de moldura axial “parada” e de perfilagem axial sinuosa com faca plana encontram-se no Quadro 48 e ilustrada nos Anexo 11.8-f e 11.8-g, respectivamente. As condições adversas de usinagem oferecidas e a forma de qualificação destas duas operações, respectivamente, podem explicar tais correlações. Conforme anteriormente mencionado, a forma parada da confecção da moldura axial e a avaliação na região de perfilagem contra as fibras induzem a formação das zonas de rachamento (pré-clivagem) da madeira que é tão mais intenso quanto maior a presença de elementos anatômicos justapostos, pois uma vez iniciado a rachadura, ela tende a se prolongar ao longo das paredes das fibras ou dos canais dos vasos. A presença e forma de apresentação desses elementos anatômicos tende a aumentar a massa específica, mostrando qualidades inferiores da usinagem devido a presença da superfície de rachamento.

4.8.7. Correlações com as propriedades químicas

No Quadro 49 encontram-se os resultados obtidos para as correlações de Pearson estabelecidos entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as propriedades químicas. Verifica-se que apenas a operação de desengrosso não apresentou correlações significativas para as propriedades químicas analisadas.

No Anexo 11.9 encontram-se ilustrados as correlações significativas entre as operações de usinagem e as solubilidades em água quente, em água fria e o teor de extrativos totais.

No Anexo 11.10 encontram-se ilustrados as correlações significativas entre as operações de usinagem e as solubilidades em NaOH (1%) e os teores de lignina insolúvel e de cinzas.

No Anexo 11.11 encontram-se ilustrados as correlações significativas entre as aderências do verniz e as solubilidades em água quente e em água fria e os teores de extrativos totais e de lignina.

Quadro 49. Valores das correlações de “Pearson” entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as propriedades químicas.

Tipo de operação	Quente	Fria	Álcool-tolueno	NaOH	Totais	Lignina	Cinzas
Dp	-0,1820	-0,1909	0,1177	-0,4150*	-0,2517	-0,0130	-0,2987
Dg	-0,2512	-0,3038	0,0436	-0,3071	-0,3123	-0,1226	-0,0602
Ma	0,2122	0,4244*	0,1194	0,2259	0,4791*	0,2887	0,0410
Mt	-0,5930*	-0,7172*	0,0622	-0,2289	-0,7046*	-0,5790*	0,2275
Pa	0,2103	0,2601	-0,1284	-0,3583	0,1914	0,3880*	-0,4766*
Rg	-0,0173	0,0252	-0,2002	-0,4514*	-0,1181	0,2021	-0,6022*
Fa/Ft	-0,1006	-0,0848	0,3023	-0,5504*	-0,1746	0,0032	-0,3118
Fc	-0,2688	-0,1962	0,1634	-0,4948*	-0,2275	-0,1923	-0,0037
Fd	-0,3736*	-0,3474	0,1157	-0,3350	-0,3661*	-0,1029	0,1386
Y	0,4261*	0,3719*	0,0074	0,2227	0,3983*	0,4569*	0,0247
X	0,1780	0,1881	0,2045	0,2221	0,1213	0,4127*	0,1339

Quente, Fria, Álcool-tolueno, NaOH, Totais, Lignina e Cinzas representam as solubilidades em água quente, em água fria, em álcool-tolueno e em NaOH (1%) e os teores de extrativos totais, de lignina insolúvel e de cinzas, respectivamente.

Dp = desempenho; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial sinuosa com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha; Fd = furação para dobradiça; Y = aderência na intersecção das incisões e X = aderência ao longo das incisões.

* = significativo a 5% de significância.

Embora se possa observar muitas correlações significativas entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as propriedades químicas da madeira, não se pode estabelecer justificativas. Tal situação é gerada pela característica das análises químicas que somente fornecem dados quantitativos das diferentes solubilidades ou dos teores de alguns constituintes. Contudo, para uma resposta mais evidente seria necessária qualificação, com posterior quantificação isolada dos constituintes encontrados. Outro fator que merece destaque é a taxa de variação existente nas propriedades químicas, a qual representa tendências no sentido medula-casca, contudo as diferenças encontradas, para as regiões amostradas, não representam grandes magnitudes.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1. CONCLUSÕES

Através das análises executadas para as diferentes propriedades da madeira, operações de usinagem e aderências do verniz, no sentido medula-casca, pôde-se observar a existência de tendências distintas, podendo ser agrupadas em:

1. tendência crescente – comprimento das fibras, espessura de parede das fibras, fração parede, índice de esbeltez das fibras, diâmetro tangencial dos vasos, área de ocupação dos vasos no plano transversal, altura total das células do raio, altura de cada célula do raio, percentual de vasos na composição do tecido, contração radial total, contração volumétrica total, massa específica básica, solubilidade em água quente, solubilidade em água fria, solubilidade em álcool-tolueno, teor de extrativos totais, teor de lignina insolúvel, notas da moldura axial “parada”, notas da perfilagem axial sinuosa com faca plana, notas das aderências do verniz na intersecção e ao longo das incisões;
2. tendência decrescente – diâmetro interno das fibras, número de vasos por milímetro quadrado, coeficiente de anisotropia, solubilidade em NaOH (1%), notas do desempenho, notas do desengrosso, notas da moldura no topo, notas da furação para dobradiça;
3. tendência crescente até a região intermediária, seguida de queda ou manutenção – percentual de fibras na composição do tecido, contração tangencial total;
4. tendência decrescente até a região intermediária, seguida de acréscimo ou manutenção – percentual de parênquima radial na composição do tecido, percentual de parênquima axial na composição do tecido, notas do rasgo na furadeira horizontal, notas da furação para cavilhas;

5. constante – notas da fresagem axial e transversal, e
6. sem tendência definida ou acompanhando dois padrões anteriormente definidos - diâmetro externo ou largura das fibras, número de raios por milímetro, largura total dos raios, largura média das células do raio, ângulo da grã, teor de cinzas.

Para as operações de usinagem podemos concluir que as atuais condições de corte são consideradas insuficientes para apresentar melhores qualidades das superfícies usinadas. Neste sentido, pode-se frisar as baixíssimas velocidades de corte, que geraram pré-clivagem em vários tipos de operações de usinagem. Apesar disto, o *Eucalyptus grandis*, aos 25 anos, apresentou resultados, em média, satisfatórios, mas inferiores ao mogno e imbuia, em termos de qualidade.

A utilização de operações como a moldura no topo (corte 90°-90°), moldura axial “parada” (corte 90°-0°) e perfilagem axial sinuosa com faca plana (corte 90°-0°), principalmente no sentido contra as fibras permitem, realmente, apreciar a usinabilidade da madeira. Nestas operações, a madeira é usinada sob drásticas condições, podendo mostrar seu verdadeiro potencial. Se durante os estudos de comparação, quer seja entre diferentes madeiras ou diferentes regiões da árvore, os resultados encontrados, em termos de qualidade, sejam satisfatórios nestas condições, pode-se prever que sob condições otimizadas de usinagem a madeira fornecerá melhores qualidades das superfícies. Contudo, torna-se necessário comprovar as novas condições de corte.

Para as correlações com as qualidades das operações de usinagem, pôde-se observar que a presença de células de parênquimas tende a reduzir a possibilidade de rachamentos contínuos (pré-clivagem), pois reduzem as dimensões dos cavacos formados. Já a presença das fibras e vasos, que possuem forma afilada e encontram alinhados ao eixo axial da madeira, tende a facilitar a pré-clivagem e conseqüentemente redução da qualidade da superfície usinada.

As correlações da aderência do verniz foram observada com vários fatores químicos da madeira. Contudo, os valores encontrados para as diferentes determinações possuíram baixas magnitudes, dentro das tendências de variação entre as regiões radiais as regiões, não podendo precisar o seu verdadeiro efeito. Com relação às propriedades anatômicas, pode-se destacar a presença dos vasos que permitiu uma melhor ancoragem do verniz e conseqüentemente melhor aderência.

5.2. SUGESTÕES

A partir dos resultados obtidos bem como das conclusões realizadas, sugere-se estudos mais profundos, principalmente no que diz respeito a:

1. caracterização anatômica, principalmente com relação às fibras e vasos, no sentido medula-casca em regiões de 5 em 5 mm, para que possa obter as reais diferenças entre regiões da madeira. Neste sentido, pode-se citar as regiões de madeira juvenil e adulta, medula, cerne e alburno;
2. semelhante ao item anterior, avaliação das propriedades físicas e químicas num menor espaços possível da variação medula casca;
3. avaliação da variação longitudinal, a cada metro, da madeira até diâmetro de 30 cm, considerado mínimo para o processamento na obtenção de madeira sólida, para poder inferir sobre as variações frente à idade;
4. utilização de métodos químicos qualitativos, podendo citar as técnicas de “infravermelho próximo”, para as diferentes extrações, visando obter correlações com as operações de usinagem e desgaste das ferramentas de corte;
5. verificação da influência do desgaste das ferramentas de corte na qualidade das operações de usinagem da madeira;

6. utilização de diferentes métodos de desdobro que permitam melhor caracterizar a região central, bem como separar tábuas radiais e tangenciais durante as operações de usinagem;
7. utilização de métodos mais adaptados (mecânicos e óticos) para a qualificação da superfície usinada, nas diferentes operações;
8. realização de testes de usinagem em corpos-de-prova de reduzidas dimensões, objetivando melhor caracterizar a variação medula-casca (madeira juvenil – madeira adulta e medula – cerne – alburno), faces radial, tangencial e transversal, bem como aumentar o número de corpos-de-prova na região próxima da medula.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALFONSO, V. A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus L'Herit.* cultivadas no Brasil.** São Paulo, 1987. 188f. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1666-87** standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials (reapproved 1994). Philadelphia: 1995. p.226 - 245.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-985:** tintas: determinação da aderência. Rio de Janeiro, 1987. 7p.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. **Série Divulgação/Prodepef**, Brasília, n.13, 145p., 1976.

BERLYN, G.P. Recent advances in wood anatomy. **Forest Products Journal**, Madison, v.10, p.467-476, 1964.

BET, L. **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor.** Florianópolis, 1999. 243f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). - Universidade Federal de Santa Catarina.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.61, p.82-86, 2001.

BONDUELLE, A.; CRUZ, C. R. da; SILVA, J. R. M. **Processo mecânico da madeira.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 26p (Notas de aula).

BONDUELLE, A. 1994, 196p. **Caracterisation du panneau de particules surface melamine par son aptitude a l'usinabilite.** Nancy, 1994. 196f. Tese (Doctem em Sciences du Bois) – L'Ecole Nationale Supérieure des Technologies et des Industries du Bois d'Epinal, Universite Henri Poincare – Nancy I.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CARVALHO, H. G. **Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose Kraft branqueada de eucalipto.** Viçosa, 1997. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa.

CECCANTINI, G. **Anatomia ecológica do lenho de espécies de cerrado e mata: *Casearia sylvestris* Sw. e *machaerium villosum* Vog.** São Paulo, 1996. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências). - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

CETMAM/SENAI. **Fundamentos teóricos da afiação e manutenção de ferramentas para a indústria moveleira e madeireira.** São José dos Pinhais, 1996. 73p.

COMPÊNDIO de informação técnica para a indústria do mobiliário. [S.l.]: Alternativa, 1992, 198p.

COSTA, E. M. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO. 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABPM/SBS, 1996. p.75-89.

CRUZ, C. R. da. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para a utilização na indústria madeireira.** Curitiba, 2000. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: CELULOSE e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2.ed. São Paulo: IPT. 1988a. v.1, p.45-106.

D'ALMEIDA, M. L. O. Caracterização química e físico-química de materiais lignocelulósicos. In: CELULOSE e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2.ed. São Paulo: IPT. 1988b. v.1, p.107-127.

DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4760.** Form deviations: concepts. classification system. Berlin: Beut, 1982.

DOWNES, G. M. et al. A. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties.** Collingwood: CSIRO, 1997. 132p.

DUBENKROPP, G. **Einsatz eines neuartigen sensors zur messung der kantenqualität als kenngrösse für wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beim kantenfräsen beschichteter holzwerkstoffe.** Braunschweig, 1982. 79f. Dissertation (Doktor-Ingenieurs). - Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der Technischen, Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade.** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1992. 33p. (Série Técnica, n.10).

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes.** São Paulo: E. Edgard Blücher, 1993. 293p.

FREITAS, A. R.; PONCE, R. H. O uso da madeira serrada de eucalipto. **Tecnologia**, São Paulo, v.3, p.3-6. 1979.

FREUD. **Freud Catalogo generale**. 18.ed. [S.l.], 1998. 207p.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

HILLIS, W. E. Wood quality and utilization. In HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.) ***Eucalyptus for wood production***. Sydney: Academic, 1984. p.259-289.

IAWA. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**. Leiden: v.10, n.3, p.219-312, 1989.

IWAKIRI, S. **Classificação de madeiras tropicais através do método mecânico não destrutivo**. Curitiba, 1982. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KININMONTH, J. A.; WHITEHOUSE, L. J. **Properties and use of New Zealand radiata pine: wood properties**, New Zealand: Forest Research Institute, 1991. v.1.

KRILOV, A. Corrosion and wear of sawblade steels. **Wood Science and Technology**, New York, v.20, p.361-368, 1986.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. Bangor, 1999. 276f. University of Wales. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

LIMA, J. T. Notas de aula do processamento da madeira - variação dimensional da Madeira. Lavras: Universidade Federal de Lavras, [199-]. 22p.

LEITZ. **Das leitz lexikon**. 3.ed. Unterschneidheim, 2001. Não paginado.

MENDES, L. M. et al. Estudo das propriedades tecnológicas da madeira de angico vermelho [*Anadenanthera peregrina* (BENTH.) SPENG] de ocorrência na região de Lavras/MG. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., Florianópolis, 1998. **Anais...** Florianópolis: IBRAMEM, v.3, p.65-75.

MERKEL, D; MEHLHORN, L. **Optisches meßsystem für die kantenkontrolle beschichteter spanplantten**. Braunschweig: Institut für Holzforschung – WKI – Braunschweig, 1980. 2p.

MOURA, M. C. **Variações em características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. Lavras, 2000. 63f. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal) - Universidade Federal de Lavras.

OLIVEIRA, A. D. et al. Determinação da variação dimensional da madeira em clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 90 meses de idade. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTO, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: Embrapa, 1997 v.3, p.118-124.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, J. T. S. Problemas e oportunidades com a utilização da madeira de eucalipto. In: WORKSHOP TECNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa/MG. **Anais...** Viçosa/MG: UFV, 1999. p.39-52.

OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LÚCIA, R. M. **Teores de extrativos de 27 espécies de madeiras nativas do Brasil ou aqui introduzidas**. Viçosa: SIF, 1994. 5p. (Boletim Técnico, nº9).

PANSHIN, A. I.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.

RAVEN, P.H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. 728p.

SALJÉ, E.; PAULMANN, R. **Grundlegender vergleich abrasiver verfahren**. Braunschweig: Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik – IWF, Technische Universität Braunschweig. Braunschweig: 1989. p.95-96.

SELLA, R. L. Técnicas silviculturais e de exploração para a obtenção de madeira de qualidade para a laminação e serraria. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIA E USOS, 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF/UFPR, 2001. p.19-24.

SENAI. **Acabador de móveis**. Ubá:CFP/JAGS, 1995. 29p.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** Piracicaba, 1990. 93f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SILVA, J.R.M. et al. **Afiação de ferramentas para o setor madeireiro**. Lavras: UFLA/DCF, 1996. 37p.

SILVA, J. R. M.; WENZEL, M. K. Utilização da madeira de eucalipto na produção de móveis - obtenção da matéria prima. In: SEMINÁRIO EUCALIPTO UMA VISÃO GLOBAL, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Embrapa, 1995. p.190-201..

SILVA, J. R. M. et al. Preparação de superfícies de madeira e derivados para receber acabamento. *Boletim Agropecuário*, Lavras, v.28, p.05-26, 1999. (Boletim Técnico).

SILVEIRA, V. **Comportamento de clones de *Eucalyptus* em diferentes ambientes definidos pela qualidade de sítio e espaçamento**. Lavras, 1999. 124f. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal) - Universidade Federal de Lavras.

STEWART, H.A.; POLAK, D.J. Relating specific gravity and mechanical properties of hardwoods to machining defects. **Forest Products Journal**, Madison, v.35, n.10, p.69-72. 1975.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Testing and methods. Atlanta, 1994. Não paginado.

TINTAS CORAL. **Noções básicas em aplicação para madeira**. Santo André, 1994, 9p.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF**, Piracicaba, v.29, p.25-36, 1985a.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v.29, p.37-45, 1985b.

TRUGILHO, P. F. et al. Corrosão química provocada nas lâminas de aço usadas nas serras para o desdobro da madeira de eucaliptos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, Florianópolis, 1998. **Anais...** Florianópolis: IBRAMEM, 1998. v.3, p.417-425.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

XAVIER, K. G. **Divergência genética em clones de *Eucalyptus* avaliada por marcadores RAPD, e variações nas propriedades da madeira**. Lavras, 2001. 107f. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal) - Universidade Federal de Lavras.

WATAI, L. T. **Tecnologia básica em acabamento de madeiras**. São Paulo: IPT, 1995. 103 p.

WEISSENSTEIN, C. Usinagem, condições da ferramenta decide bom acabamento. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.57, p.30-32, 2000.

ANEXOS

Anexo 1.1. Valores médios, em μm , e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o comprimento das fibras.

Árvore	Média, em μm , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	916,1	1023,5	1124,3	22,5	20,1	14,3
2	1111,8	1227,5	1312,2	11,6	9,4	11,0
3	1081,5	1215,5	1289,2	12,0	11,3	12,1
4	1142,5	1277,8	1291,5	19,0	12,1	10,7
5	1027,8	1125,0	1128,5	13,1	8,4	9,14
6	1000,2	1016,3	1049,2	5,5	8,0	10,3

Anexo 1.2. Valores médios, em μm , e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o diâmetro externo ou largura das fibras.

Árvore	Média, em μm , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	21,4	21,5	20,4	21,9	19,3	19,8
2	18,1	18,8	18,4	19,9	21,8	23,4
3	18,3	19,1	19,5	21,7	24,7	29,8
4	18,9	19,3	18,0	27,0	21,1	23,1
5	16,8	17,7	17,6	23,3	22,7	19,3
6	16,7	18,0	18,5	14,6	21,1	22,2

Anexo 1.3. Valores médios, em μm , e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o diâmetro interno ou lume das fibras.

Árvore	Média, em μm , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	15,2	14,5	12,0	27,0	24,9	27,9
2	10,9	9,6	7,9	27,3	31,9	36,2
3	10,7	10,1	9,5	33,9	40,3	46,2
4	10,8	11,4	9,6	37,1	25,6	34,5
5	9,1	9,0	8,0	29,3	29,7	34,0
6	10,3	9,5	8,2	20,6	33,5	33,7

Anexo 1.4. Valores médios, em μm , e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a espessura de parede das fibras.

Árvore	Média, em μm , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	3,1	3,5	4,2	29,9	34,0	27,9
2	3,6	4,6	5,3	31,9	33,4	32,5
3	3,8	4,5	5,0	29,4	27,2	29,5
4	4,1	4,0	4,2	31,4	36,0	43,3
5	3,8	4,4	4,8	30,5	28,2	23,6
6	3,2	4,3	5,1	25,7	33,5	27,6

Anexo 1.5. Valores médios, em %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a fração parede das fibras.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	0,30	0,33	0,41	27,3	29,7	23,9
2	0,40	0,49	0,57	25,8	24,5	20,5
3	0,42	0,48	0,52	27,7	25,0	22,6
4	0,44	0,41	0,46	23,1	23,5	31,0
5	0,46	0,49	0,55	19,4	18,2	19,1
6	0,38	0,48	0,56	21,7	27,4	18,2

Anexo 1.6. Valores médios, adimensional, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o índice de esbeltez das fibras.

Árvore	Média, adimensional, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	43,8	48,6	57,4	22,1	20,8	25,3
2	63,4	68,6	75,0	20,7	24,1	24,2
3	62,0	67,3	70,9	26,5	27,7	28,1
4	63,1	69,2	76,1	21,7	25,9	29,1
5	64,0	67,0	66,5	23,9	25,1	22,5
6	61,3	58,9	59,3	15,7	21,9	21,5

Anexo 1.7. Resumo da análise de variância para as características ligadas às das fibras, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR					
		Comprimento (µm)	Diâmetro externo (µm)	Diâmetro interno (µm)	Espessura de parede (µm)	Fração parede (adm.)	índice de esbeltez (adm.)
Região	2	72199,2*	1,38 ^{n.s.}	12,66*	4,06*	0,0408*	188,7 ^{n.s.}
Resíduo	33	10352,6	2,21	3,53	0,21	0,0037	63,9
Total	35						

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 2.1. Valores médios e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o número de vasos por milímetro quadrado.

Árvore	Média, número, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	14,8	8,6	7,7	44,8	18,0	25,3
2	14,8	9,1	8,2	42,0	18,6	22,0
3	10,6	7,2	7,4	43,1	24,8	20,5
4	9,4	7,8	7,4	25,5	24,3	21,3
5	10,4	10,3	9,5	20,1	23,0	31,5
6	9,5	8,5	8,6	33,6	32,9	33,9

Anexo 2.2. Valores médios, em μm , e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o diâmetro tangencial dos vasos.

Árvore	Média, em μm , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	105,8	132,7	137,8	41,0	33,2	43,4
2	96,7	118,0	130,0	36,0	26,2	30,5
3	113,7	143,5	157,8	31,5	26,6	26,7
4	116,5	151,3	147,2	35,5	20,7	29,6
5	128,0	133,0	132,2	20,9	24,4	25,2
6	107,7	125,5	134,3	27,4	26,1	29,2

Anexo 2.3. Valores médios, em $\%/ \text{mm}^2$, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a área de ocupação dos vasos.

Árvore	Média, $\%/ \text{mm}^2$, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	21,5	22,5	22,1	23,5	24,9	25,9
2	20,0	18,6	19,8	20,6	18,5	37,4
3	16,8	16,6	19,1	34,1	39,9	31,0
4	15,5	18,5	17,0	39,8	25,4	23,9
5	19,8	20,2	19,9	26,6	26,4	27,4
6	13,8	15,1	17,0	25,0	24,7	35,1

Anexo 2.4. Resumo da análise de variância para as características ligadas aos vasos, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR		
		Número por milímetro quadrado (n°)	Diâmetro tangencial (µm)	Percentual de ocupação (%/mm ²)
Região	2	42,88*	2716,65*	4,66 ^{n.s.}
Resíduo	33	2,76	126,68	8,74
Total	35			

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 3.1. Valores médios e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o número de raios por milímetro.

Árvore	Média, número, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	11,8	11,7	11,8	15,2	14,9	10,5
2	11,6	10,6	10,7	13,3	13,8	14,4
3	12,3	11,3	11,0	14,5	15,4	14,1
4	14,1	11,6	10,9	22,1	20,5	18,0
5	12,6	12,4	13,8	16,4	12,5	13,0
6	12,1	11,4	11,4	15,9	18,7	16,6

Anexo 3.2. Valores médios, em µm, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a altura total do raio.

Árvore	Média, em µm, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	173,6	179,7	214,0	42,2	40,3	39,8
2	171,8	229,4	232,2	35,2	33,4	39,2
3	167,2	182,3	188,2	38,4	39,2	37,7
4	237,1	233,0	216,4	42,1	44,1	47,7
5	200,5	193,3	218,1	41,1	39,8	50,0
6	247,7	185,5	194,5	56,9	41,2	34,0

Anexo 3.3. Valores médios, em μm , e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a altura por célula do raio.

Árvore	Média, em μm , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	18,6	20,5	21,0	15,8	16,5	16,6
2	20,4	22,6	23,1	20,4	16,3	13,9
3	19,4	21,0	20,1	33,6	30,3	14,7
4	17,0	18,6	20,5	9,7	14,6	17,9
5	20,9	24,2	23,8	18,7	12,3	10,5
6	17,4	19,3	21,0	15,0	10,3	11,2

Anexo 3.4. Valores médios, em μm , e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a largura total do raio.

Árvore	Média, em μm , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	14,6	12,5	13,4	35,2	25,2	33,0
2	12,2	12,5	12,9	18,5	21,0	24,9
3	15,2	12,2	12,4	26,3	24,0	23,3
4	16,8	15,0	12,9	18,9	21,9	21,6
5	13,3	15,1	16,8	20,5	29,7	35,1
6	18,8	14,5	16,5	35,9	28,1	33,0

Anexo 3.5. Valores médios, em μm , e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a largura por célula do raio.

Árvore	Média, em μm , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	11,7	11,8	12,0	30,3	29,0	31,7
2	11,9	12,5	12,7	19,6	21,0	27,1
3	14,9	11,5	11,4	28,4	29,2	27,8
4	15,0	14,4	12,6	28,7	24,7	21,8
5	12,2	13,2	13,0	22,9	32,3	32,0
6	12,5	11,1	11,8	30,9	21,1	29,4

Anexo 3.6. Resumo da análise de variância para as características ligadas ao parênquima radial (raios), em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	Número por milímetro (nº/mm)	QMR			
			Altura (µm)		Largura (µm)	
			Total	por célula	Total	por célula
Região	2	3,18 ^{n.s.}	443,32 _{n.s.}	23,35*	6,72 ^{n.s.}	2,18 ^{n.s.}
Resíduo	33	1,01	845,51	3,28	3,94	1,87
Total	35					

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 4.1. Valores médios, em graus, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o ângulo da grã.

Árvore	Média, em graus, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	0,33	1,73	2,65	141,4	53,1	62,3
2	1,75	2,05	1,86	72,9	80,5	79,1
3	1,60	1,89	1,82	68,3	68,6	68,1
4	3,68	1,53	2,02	86,6	77,2	60,3
5	2,71	1,89	1,85	81,7	73,3	94,0
6	2,93	2,10	2,64	39,4	62,5	69,1
Geral	2,11	1,87	2,14	81,7	69,1	72,2

Anexo 4.2. Resumo da análise de variância para o ângulo da grã, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR
Região	2	1,19 ^{n.s.}
Resíduo	33	1,45
Total	35	

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 5.1. Valores médios, em %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o percentual de fibras no tecido da madeira.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	54,2	55,3	55,8	11,3	7,3	12,3
2	55,8	58,5	55,2	12,1	9,9	8,8
3	54,3	59,8	59,7	15,5	10,1	5,6
4	55,8	52,3	48,5	6,4	16,2	15,7
5	52,3	55,5	55,4	20,3	7,4	8,4
6	51,1	59,2	58,1	21,1	6,2	7,1

Anexo 5.2. Valores médios, em %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o percentual de vasos no tecido da madeira.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	20,7	22,7	21,3	23,8	18,2	26,6
2	16,4	18,3	18,4	17,5	17,8	20,8
3	15,3	17,6	18,7	24,2	23,6	15,7
4	14,3	20,8	23,3	20,3	26,6	19,8
5	18,2	20,0	19,9	19,5	13,0	18,6
6	16,2	16,0	15,3	20,9	19,4	24,4

Anexo 5.3. Valores médios, em %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o percentual de parênquima radial no tecido.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	12,0	11,3	11,8	19,5	23,7	24,4
2	12,3	9,4	10,8	31,6	25,8	24,2
3	14,6	11,3	10,7	30,2	29,2	28,9
4	14,8	11,7	12,9	24,0	25,7	34,4
5	13,3	13,2	13,9	24,4	20,2	25,5
6	13,4	12,1	14,8	39,0	29,6	25,4

Anexo 5.4. Valores médios, em %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o percentual de parênquima axial no tecido.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	13,2	10,8	11,2	28,9	20,8	27,8
2	15,4	13,8	15,6	33,9	25,8	19,6
3	15,8	11,3	11,0	40,0	32,0	25,1
4	15,1	15,3	15,3	21,8	31,2	33,9
5	16,2	11,3	10,8	61,5	24,8	25,1
6	19,3	12,8	11,9	42,6	18,1	25,2

Anexo 5.5. Resumo da análise de variância para as características ligadas ao percentual de composição do tecido da madeira pelos diferentes tipos de células, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR			
		Fibras	Vasos	Parênquimas	
				Radial	Axial
Região	2	24,01 ^{n.s.}	26,09*	12,37*	37,00*
Resíduo	33	9,71	6,18	1,73	4,31
Total	35				

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 6.1. Valores médios, em %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a contração radial total da madeira.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	5,1	6,2	6,5	31,8	18,1	11,5
2	5,9	7,3	6,9	35,2	9,0	4,9
3	4,8	6,2	7,1	23,1	20,1	9,5
4	4,3	5,0	5,6	18,0	22,4	22,9
5	5,1	6,5	7,2	15,8	19,5	7,9
6	4,4	5,4	6,2	26,6	24,9	10,5

Anexo 6.2. Valores médios, em %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a contração tangencial total da madeira.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	10,1	11,2	10,4	32,4	19,0	8,0
2	11,9	15,0	12,9	41,4	15,1	10,3
3	9,4	10,3	10,4	23,2	18,7	10,7
4	9,1	9,7	9,9	12,8	13,6	10,7
5	8,8	10,1	10,6	23,4	16,0	7,5
6	9,0	9,7	9,9	21,6	22,5	16,5

Anexo 6.3. Valores médios, em %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a contração volumétrica total da madeira.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	14,0	15,7	15,8	25,0	15,0	7,0
2	16,4	19,8	18,3	30,3	10,0	5,1
3	13,4	15,3	16,4	17,2	14,6	7,5
4	12,7	14,0	15,3	12,3	14,7	9,1
5	13,6	15,9	17,2	17,5	13,2	5,6
6	13,0	14,4	15,7	18,7	18,9	8,2

Anexo 6.4. Valores médios, adimensional, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o coeficiente de anisotropia da madeira.

Árvore	Média, adimensional, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	2,00	1,81	1,62	12,0	14,1	9,1
2	1,99	2,06	1,87	11,5	10,3	11,4
3	2,00	1,70	1,47	17,8	20,7	13,0
4	2,13	2,04	1,89	16,5	27,9	37,7
5	1,73	1,58	1,41	13,8	15,8	6,1
6	2,10	1,86	1,62	16,2	20,9	18,7

Anexo 6.5. Valores médios, g/cm³, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a massa específica básica da madeira.

Árvore	Média, g/cm ³ , por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	0,36	0,40	0,47	4,7	12,9	7,6
2	0,35	0,40	0,46	5,7	8,2	7,7
3	0,38	0,41	0,47	7,0	10,6	10,4
4	0,35	0,39	0,48	4,9	14,2	13,1
5	0,43	0,53	0,62	4,3	18,1	10,0
6	0,39	0,46	0,54	15,9	17,5	8,9

Anexo 6.6. Resumo da análise de variância para as propriedades físicas da madeira, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR				
		Contrações totais (%)			Coeficiente de anisotropia (adm.)	Massa específica básica (g/cm ³)
		Radiais	Tangenciais	Volumétricas		
Região	2	11,73*	8,03 ^{n.s.}	28,08*	0,454*	0,0576*
Resíduo	33	0,55	2,56	2,78	0,042	0,0027
Total	35					

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 7.1. Valores médios, %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a solubilidade em água quente.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	1,2	1,5	2,2	3,9	27,1	18,9
2	1,1	0,8	1,7	78,8	63,3	32,9
3	1,0	0,9	1,8	19,1	9,5	54,0
4	1,2	1,8	2,8	43,7	11,5	29,9
5	2,4	2,5	2,7	14,1	6,3	11,1
6	1,5	3,4	4,7	22,0	54,6	6,8

Anexo 7.2. Valores médios, %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a solubilidade em água fria.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	1,6	1,7	1,9	10,7	3,3	14,3
2	0,4	0,9	1,4	57,5	30,6	21,2
3	0,6	1,1	1,7	64,6	10,4	35,2
4	0,9	1,6	2,4	85,6	9,5	32,4
5	2,2	2,1	2,1	15,7	21,0	22,3
6	0,9	2,7	3,9	70,5	52,8	3,6

Anexo 7.3. Valores médios, %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a solubilidade em álcool-tolueno.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	2,8	2,7	2,7	2,7	3,2	2,4
2	2,1	2,1	2,2	12,5	10,4	3,0
3	1,9	2,0	2,0	4,3	4,4	3,2
4	1,9	1,9	1,7	3,7	4,5	8,9
5	1,7	1,5	1,6	1,8	12,5	16,4
6	1,8	2,3	2,6	3,1	21,7	4,2

Anexo 7.4. Valores médios, %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a solubilidade em NaOH (1%).

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	11,8	10,2	9,6	9,1	8,5	1,9
2	8,0	8,0	8,1	6,5	6,0	5,7
3	12,3	10,2	9,9	17,7	3,1	1,5
4	11,0	10,5	10,8	4,3	2,0	5,2
5	12,3	11,3	10,7	4,8	5,9	2,4
6	12,7	12,0	12,8	17,6	11,8	3,8

Anexo 7.5. Resumo da análise de variância para as propriedades químicas ligadas às solubilidades da madeira em água quente, em água fria, em álcool-tolueno e em NaOH (1%), em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR			
		Percentual das solubilidades (%)			
		Água quente	Água fria	Álcool- tolueno	NaOH (1%)
Região	2	4,79*	3,84*	0,0385 ^{n.s.}	4,17 ^{n.s.}
Resíduo	33	0,74	0,50	0,1596	2,24
Total	35				

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 8.1. Valores médios, %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o percentual de extrativos totais.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	4,4	4,6	4,9	5,6	2,0	7,7
2	3,2	3,7	4,2	9,3	8,1	7,2
3	3,9	4,1	4,6	3,0	9,6	5,4
4	4,3	4,8	5,5	15,6	3,1	15,2
5	5,1	5,2	5,2	4,9	5,0	3,5
6	3,8	5,6	6,8	18,6	26,0	3,4

Anexo 8.2. Valores médios, %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o percentual de lignina insolúvel na madeira.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	14,5	16,4	16,5	12,4	3,3	3,1
2	14,5	17,2	17,9	7,1	12,8	7,7
3	15,0	15,3	15,9	7,0	8,5	4,1
4	15,6	16,4	15,9	8,5	4,2	3,6
5	15,4	15,9	17,3	1,7	4,3	7,0
6	17,5	18,5	18,8	6,4	2,9	4,2

Anexo 8.3. Valores médios, %, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para o teor de cinzas na madeira.

Árvore	Média, em %, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	0,15	0,11	0,14	19,7	13,8	34,7
2	0,14	0,12	0,19	25,9	4,5	41,5
3	0,32	0,25	0,17	19,1	59,0	34,5
4	0,30	0,15	0,16	57,5	5,7	7,2
5	0,08	0,04	0,09	67,9	19,9	54,8
6	0,14	0,11	0,17	52,1	37,7	10,5

Anexo 8.4. Resumo da análise de variância para as propriedades químicas ligadas aos percentuais de extrativos totais, de lignina insolúvel e de cinzas na madeira, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR		
		Percentual (%)		
		Extrativos totais	Lignina insolúvel	Cinzas
Região	2	3,55*	8,66*	0,0102 ^{n.s.}
Resíduo	33	0,54	1,26	0,0047
Total	35			

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 9.1. Valores médios calculados e coeficiente de variação, entre árvores, para os parâmetros avanços por dente (f_z) e velocidade de avanço (V_f), nas diferentes operações de usinagem.

Parâmetro de Usinagem	Tipo de operação de usinagem								
	Dp	Dg	Ma	Mt	Pa	Rg	Fa/Ft	Fc*	Fd
Árvore 1									
f_z (mm)	0,61	0,59	0,36	0,28	0,14	0,06	0,05	0,19	0,05
V_f (m/min)	8,19	7,73	6,27	3,39	2,48	0,39	0,95	1,06	0,25
Árvore 2									
f_z (mm)	0,60	0,59	0,37	0,26	0,12	0,06	0,05	0,18	0,05
V_f (m/min)	8,08	7,78	6,73	3,11	2,17	0,40	0,85	1,01	0,26
Árvore 3									
f_z (mm)	0,59	0,59	0,40	0,28	0,14	0,05	0,05	0,19	0,05
V_f (m/min)	7,95	7,76	7,13	3,30	2,44	0,36	0,80	1,04	0,27
Árvore 4									
f_z (mm)	0,61	0,59	0,42	0,31	0,12	0,05	0,05	0,20	0,05
V_f (m/min)	8,19	7,76	7,52	3,67	2,21	0,36	0,82	1,12	0,25
Árvore 5									
f_z (mm)	0,58	0,59	0,34	0,28	0,14	0,05	0,04	0,19	0,04
V_f (m/min)	7,80	7,77	6,09	3,32	2,42	0,34	0,68	1,04	0,24
Árvore 6									
f_z (mm)	0,61	0,59	0,35	0,28	0,13	0,06	0,05	0,18	0,04
V_f (m/min)	8,17	7,74	6,10	3,41	2,34	0,40	0,90	1,02	0,25

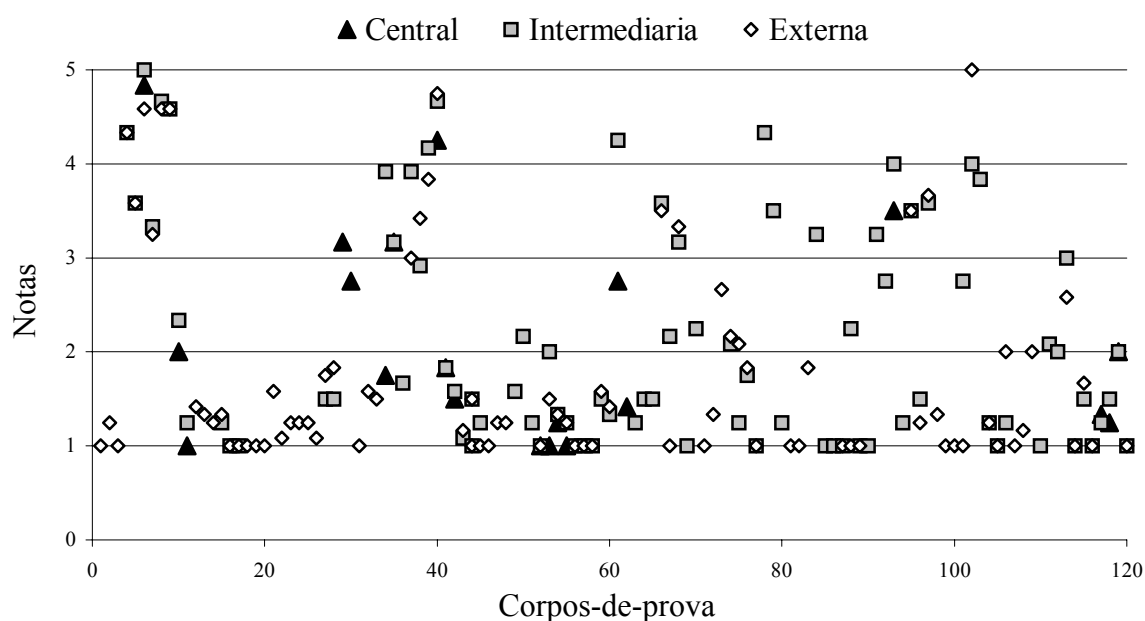
Dp = desempeno; Dg = desengrosso; Ma = moldura axial “parada”; Mt = moldura no topo; Pa = perfilagem axial com faca plana; Rg = rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft = fresagem axial e transversal; Fc = furação para cavilha e Fd = furação para dobradiça.

* representam valores médios para os diâmetros de 6, 8 e 10 mm.

Anexo 9.2. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de desempeno.

Árvore	Média, notas, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	2,6	2,9	2,0	73,3	56,7	70,8
2	3,0	3,1	2,0	37,8	42,1	62,4
3	1,3	1,4	1,2	39,7	41,1	38,8
4	2,1	2,2	2,0	57,4	58,4	57,3
5	3,5	2,2	1,6	23,9	57,2	65,7
6	1,5	1,9	1,7	30,7	59,9	68,7

Anexo 9.3. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de desempenho (notas mais baixas representam melhores qualidades de usinagem).



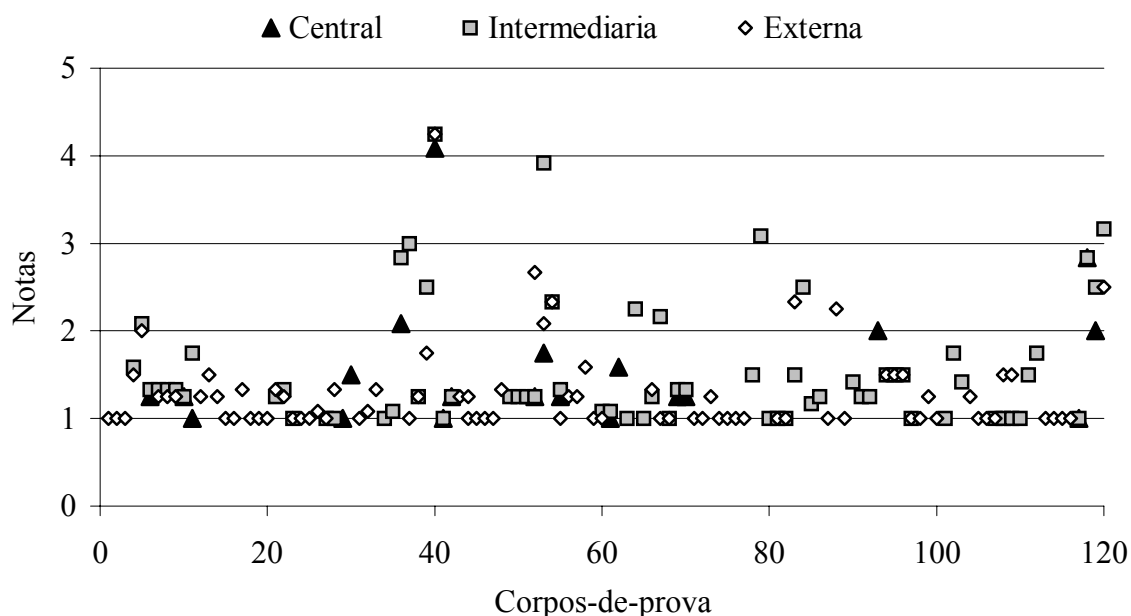
Anexo 9.4. Resumo da análise de variância para as notas atribuídas as operações de desempenho, de desengrosso e de moldura no topo, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR		
		Notas atribuídas para as operações de usinagem (adm.)		
		Desempenho	Desengrosso	Moldura no topo
Região	2	1,07 ^{n.s.}	0,46 ^{n.s.}	10,34*
Resíduo	33	0,83	0,18	0,13
Total	35			

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

Anexo 9.5. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de desengrosso (notas mais baixas representam melhores qualidades de usinagem).



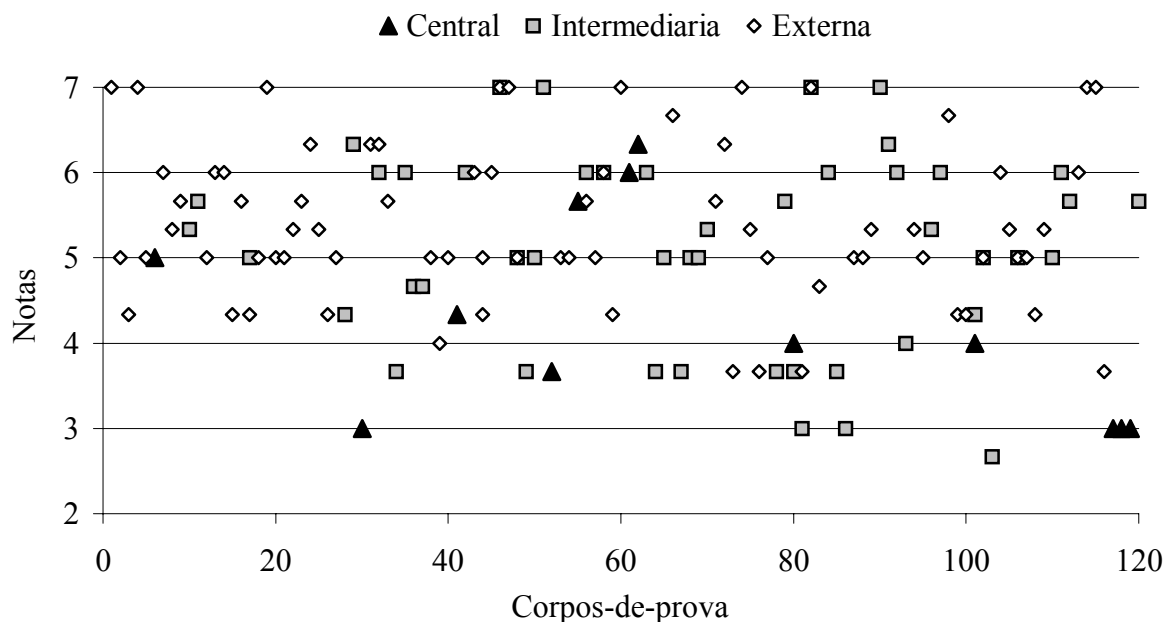
Anexo 9.6. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de desengrosso.

Árvore	Média, notas, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	1,2	1,5	1,2	29,4	55,0	47,4
2	2,2	1,8	1,4	69,3	63,5	64,4
3	1,3	1,6	1,4	50,7	57,5	43,9
4	1,3	1,5	1,1	40,2	56,5	23,2
5	2,0	1,4	1,3	83,7	47,9	46,3
6	1,9	1,6	1,3	52,1	61,3	48,7

Anexo 9.7. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de moldura axial “parada”.

Árvore	Média, notas, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	5,0	5,3	5,5	0,0	7,9	16,9
2	3,0	5,1	5,3	0,0	23,0	16,6
3	4,6	5,7	5,6	20,8	18,9	17,1
4	5,4	4,7	5,4	19,9	20,3	23,4
5	--	5,2	5,1	--	28,3	20,1
6	3,3	4,9	5,4	13,6	20,9	18,9

Anexo 9.8. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de moldura axial “parada” (notas mais baixas representam melhores qualidades de usinagem).



Anexo 9.9. Resumo da análise de variância para as notas atribuídas as operações de moldura axial “parada”, de perfilagem axial sinuosa com faca plana, de fresagem axial e transversal e de furação dobradiça, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR			
		Notas atribuídas para as operações de usinagem (adm.)			
		Moldura axial “parada”	Perfilagem axial sinuosa	Fresagem axial e transversal	Furação dobradiça
Região	2	4,53*	4,54*	0,017 ^{n.s.}	0,111*
Resíduo	31	0,53	0,78	0,367	0,030
Total	33				

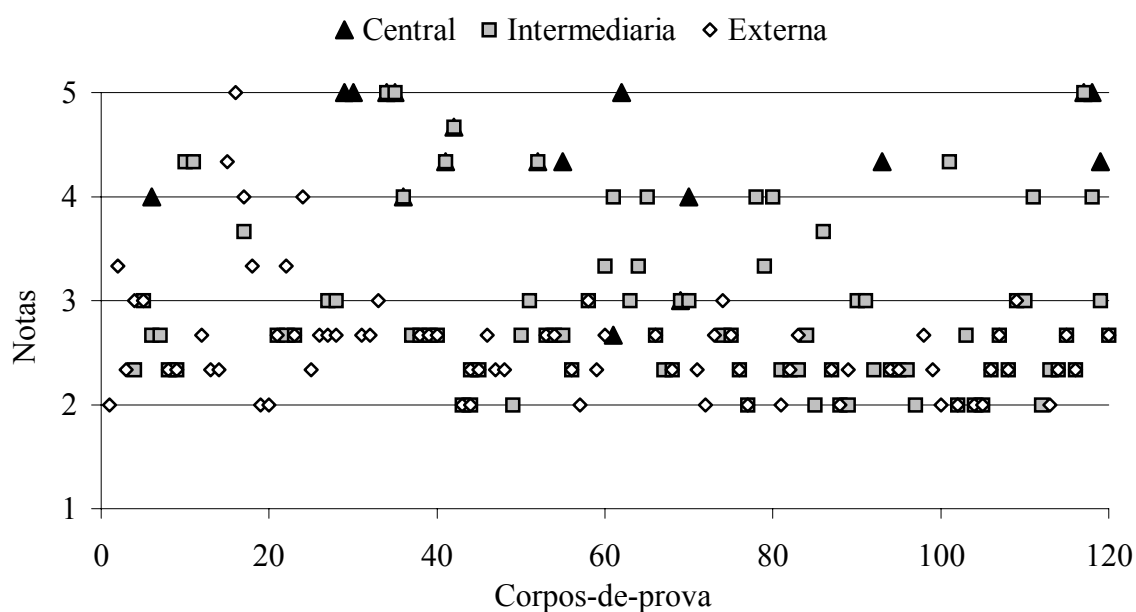
* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

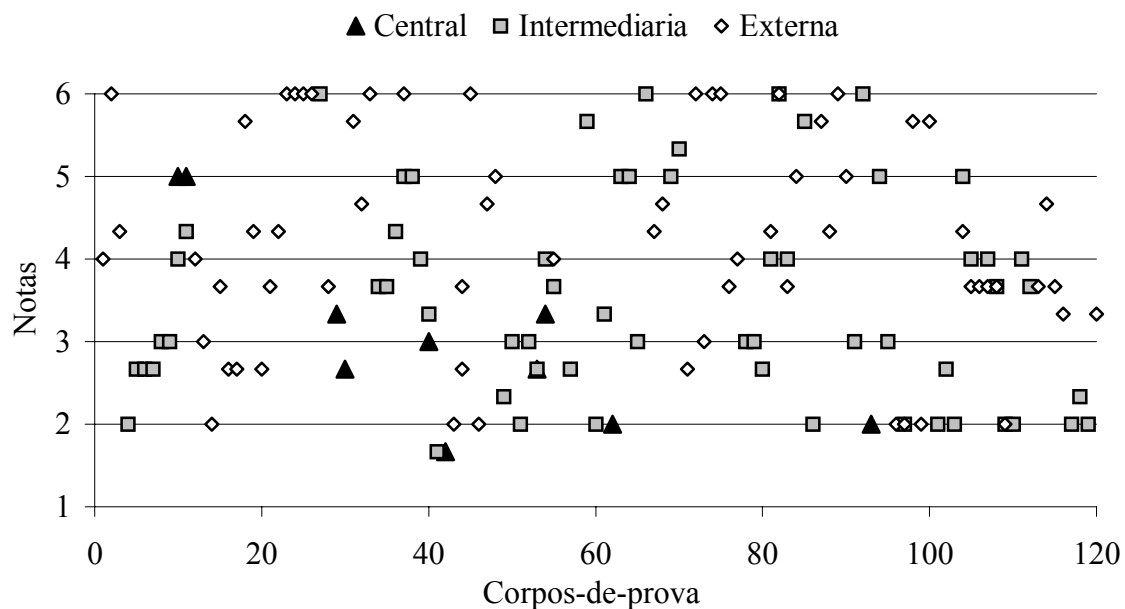
Anexo 9.10. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de moldura no topo.

Árvore	Média, notas, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	4,0	3,1	2,9	0,0	28,2	31,8
2	4,8	3,2	2,8	8,5	28,8	18,7
3	4,5	2,9	2,4	9,1	30,4	17,7
4	3,7	3,0	2,4	26,0	23,9	18,1
5	4,3	2,4	2,3	9,4	22,7	17,0
6	4,8	2,8	2,4	8,2	31,0	18,2

Anexo 9.11. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de moldura no topo (notas mais baixas representam melhores qualidades de usinagem).



Anexo 9.12. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de perfilagem axial sinuosa com faca plana (notas mais baixas representam melhores qualidades de usinagem).



Anexo 9.13. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de perfilagem axial com faca plana.

Árvore	Média, notas, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	5,0	3,0	3,8	0,0	29,5	34,5
2	3,0	4,4	5,3	19,0	22,9	19,0
3	2,6	3,0	3,8	35,0	37,9	37,0
4	2,0	4,1	4,5	0,0	29,1	28,4
5	2,0	4,1	4,4	0,0	36,7	34,5
6	--	3,3	3,1	--	35,2	22,4

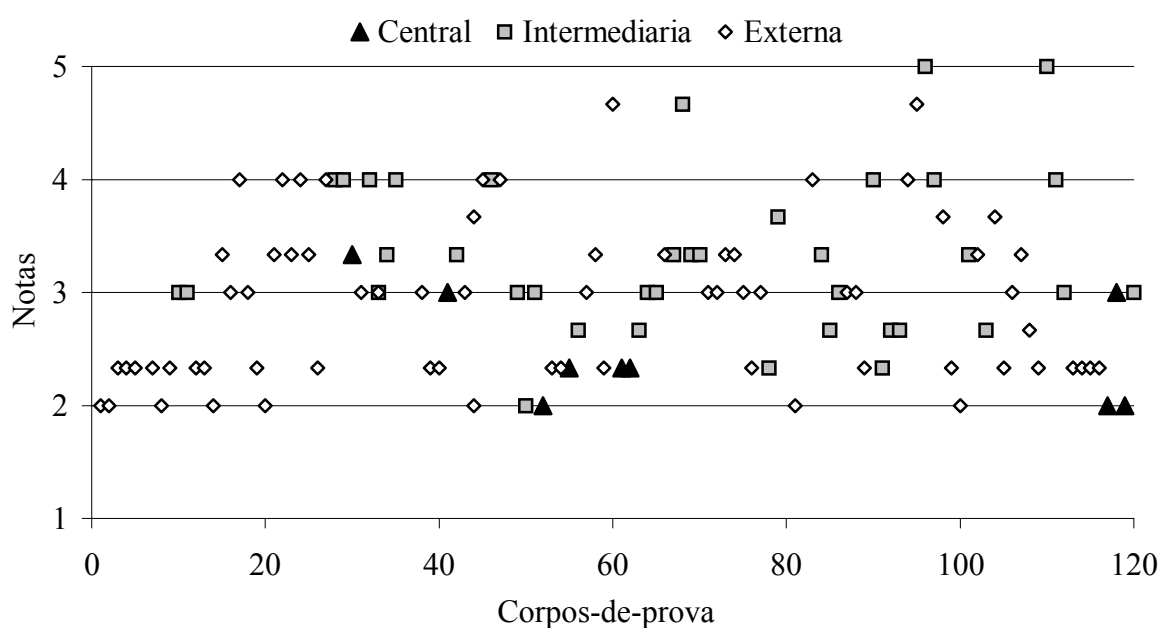
Anexo 9.14. Resumo da análise de variância para as notas atribuídas as operações de rasgo no canto executado na furadeira horizontal e de furação cavilha executado na furadeira vertical, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR	
		Notas atribuídas para as operações de usinagem (adm.)	
		Rasgo no canto	Furação cavilha
Região	2	1,26*	0,325 ^{n.s.}
Resíduo	29	0,16	0,183
Total	31		

* - significativo a 5% de significância.

n.s. - não significativo a 5% de significância.

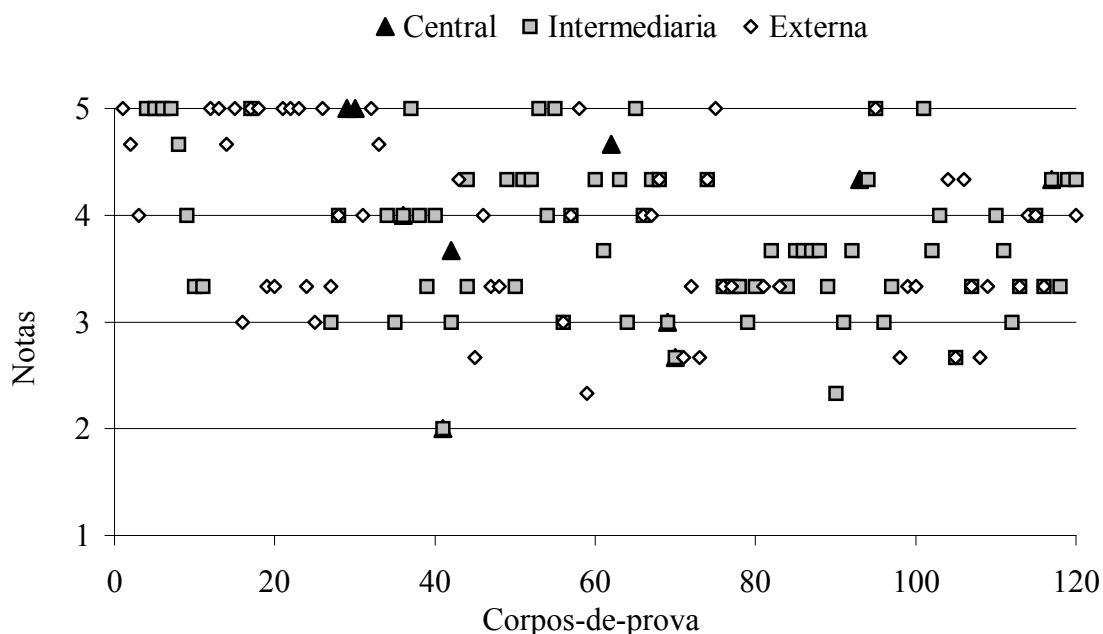
Anexo 9.15. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de rasgo no canto, executado na furadeira horizontal (notas mais baixas representam melhores qualidades de usinagem).



Anexo 9.16. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de rasgo na furadeira horizontal.

Árvore	Média, notas, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	--	3,0	2,5	--	0,0	24,5
2	3,3	3,7	3,2	12,3	11,8	20,9
3	2,4	3,0	3,2	19,7	22,1	27,8
4	2,3	3,3	3,0	16,7	23,8	13,5
5	--	3,3	3,1	--	28,2	30,1
6	2,3	3,5	2,7	20,8	24,9	27,5

Anexo 9.17. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de fresagem axial e transversal, executado na tupia superior (notas mais baixas representam melhores qualidades de usinagem).



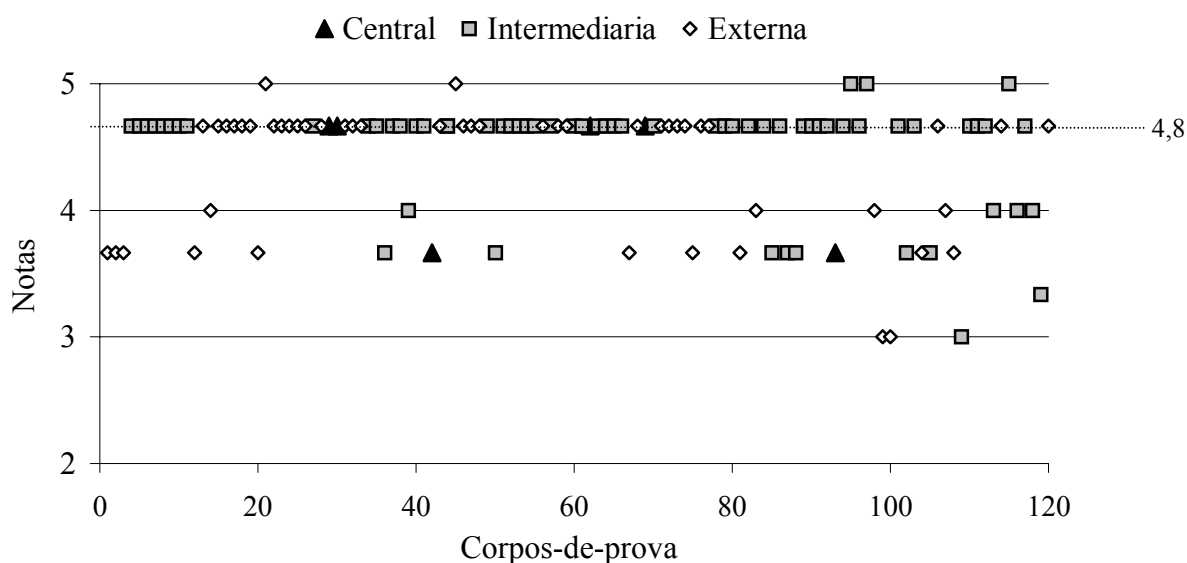
Anexo 9.18. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de fresagem axial e transversal.

Árvore	Média, notas, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	--	4,5	4,4	--	16,2	17,7
2	4,7	3,8	4,3	10,4	16,0	18,3
3	2,9	3,9	3,6	38,0	21,5	24,4
4	3,4	3,7	3,7	29,8	21,3	22,8
5	4,3	3,6	3,5	9,4	21,7	22,9
6	4,3	3,8	3,6	9,4	18,9	20,0

Anexo 9.19. Valores médios, notas, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de furação para cavilha.

Árvore	Média, notas, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	--	4,7	4,2	--	8,1	14,4
2	4,7	4,5	4,7	8,3	11,5	7,9
3	3,6	4,6	4,7	11,6	10,3	7,9
4	4,7	4,7	4,4	8,3	8,1	12,7
5	3,7	4,5	3,5	11,1	12,7	13,9
6	--	4,2	4,2	--	15,8	13,7

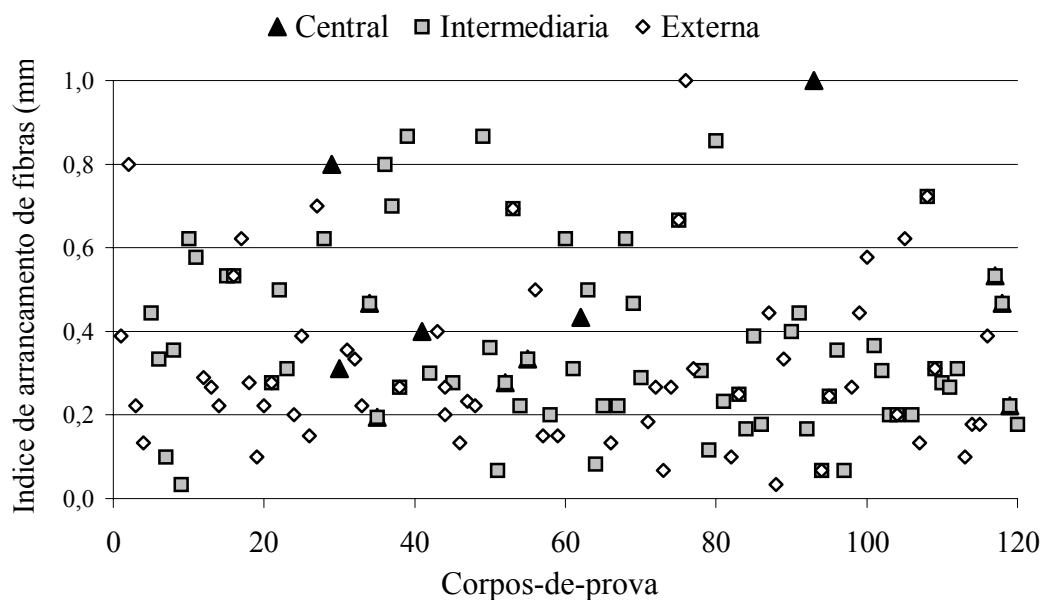
Anexo 9.20. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de furação para cavilha na face, executado na furadeira vertical (notas mais baixas representam melhores qualidades de usinagem).



Anexo 9.21. Valores médios, em mm, e coeficientes de variação, em %, por árvore e região, para a operação de furação para dobradiça.

Árvore	Média, em mm, por região			CV, em %, por região		
	Central	Intermediária	Externa	Central	Intermediária	Externa
1	--	0,39	0,34	--	50,6	59,6
2	0,44	0,50	0,32	52,5	43,6	47,7
3	0,33	0,39	0,30	15,1	60,6	60,3
4	0,43	0,39	0,36	0,0	58,6	82,2
5	1,00	0,25	0,28	0,0	49,6	61,8
6	0,41	0,33	0,31	33,8	45,8	67,2

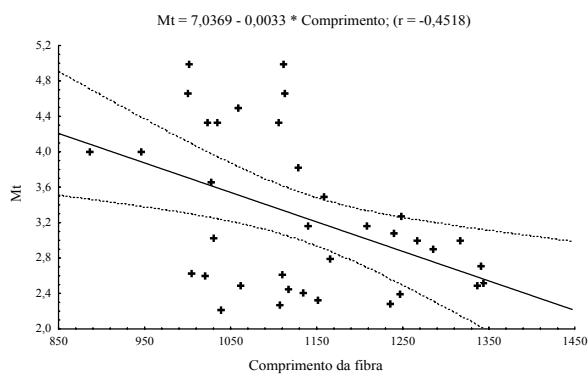
Anexo 9.22. Distribuição geral das notas, por região e corpo-de-prova, para a operação de furação para dobradiça na face, executada na furadeira vertical (índices de arrancamentos de fibras mais baixos representam melhores qualidades de usinagem).



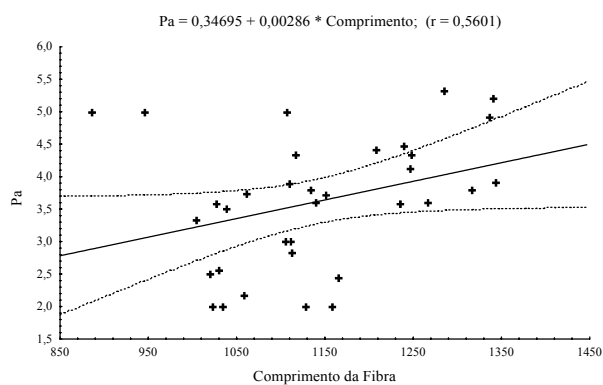
Anexo 10.1. Resumo da análise de variância para as notas atribuídas à aderência do verniz na intersecção e ao longo das incisões cruzadas, em função da variação no sentido medula-casca.

Fonte de variação	GL	QMR	
		Notas atribuídas para a aderência do verniz (adm.)	
		Na intersecção das incisões	Ao longo das incisões
Região	2	0,0122 ^{n.s.}	0,248 ^{n.s.}
Resíduo	33	0,0420	0,105
Total	35		

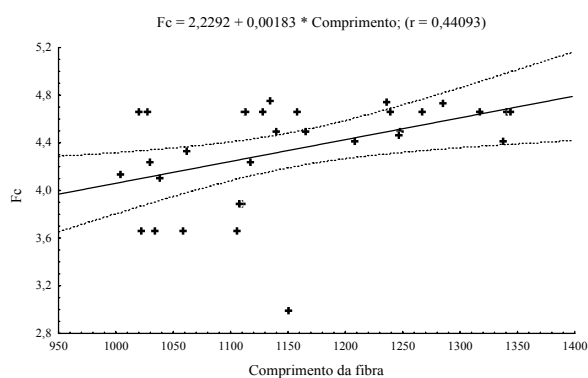
n.s. - não significativo a 5% de significância.



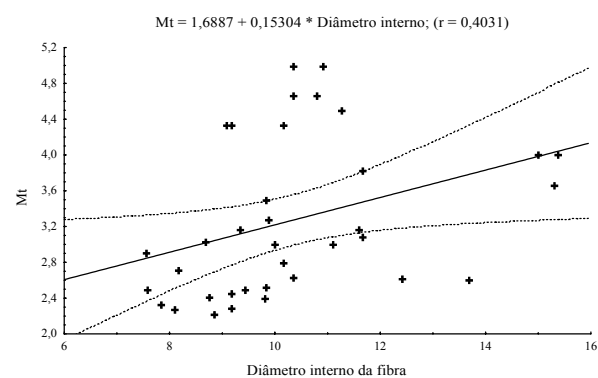
(a)



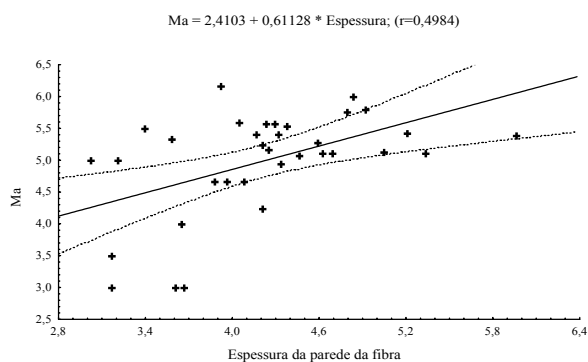
(b)



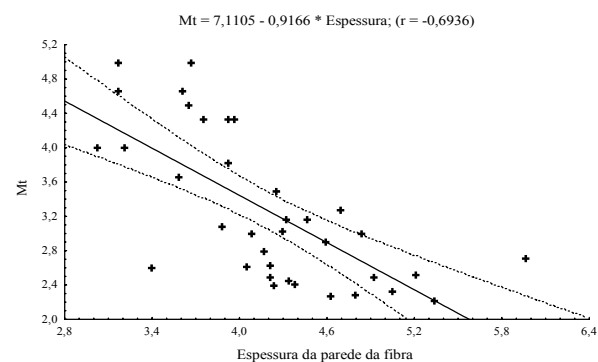
(c)



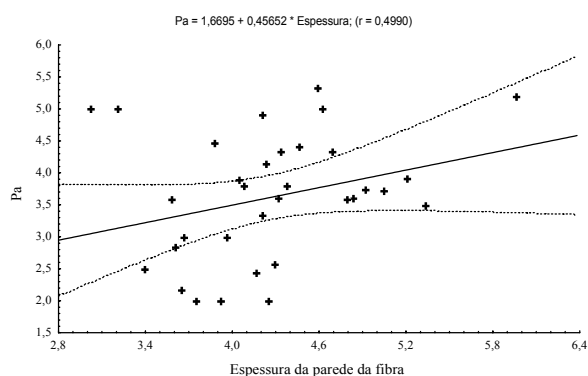
(d)



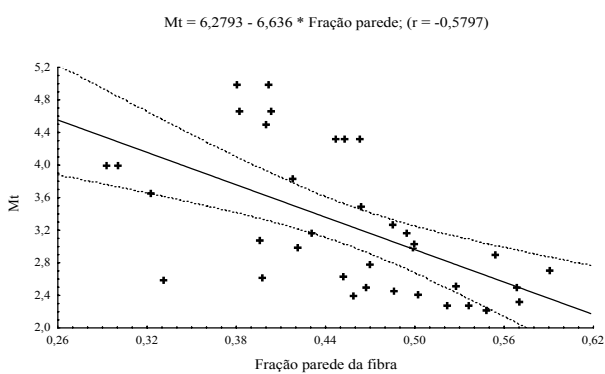
(e)



(f)

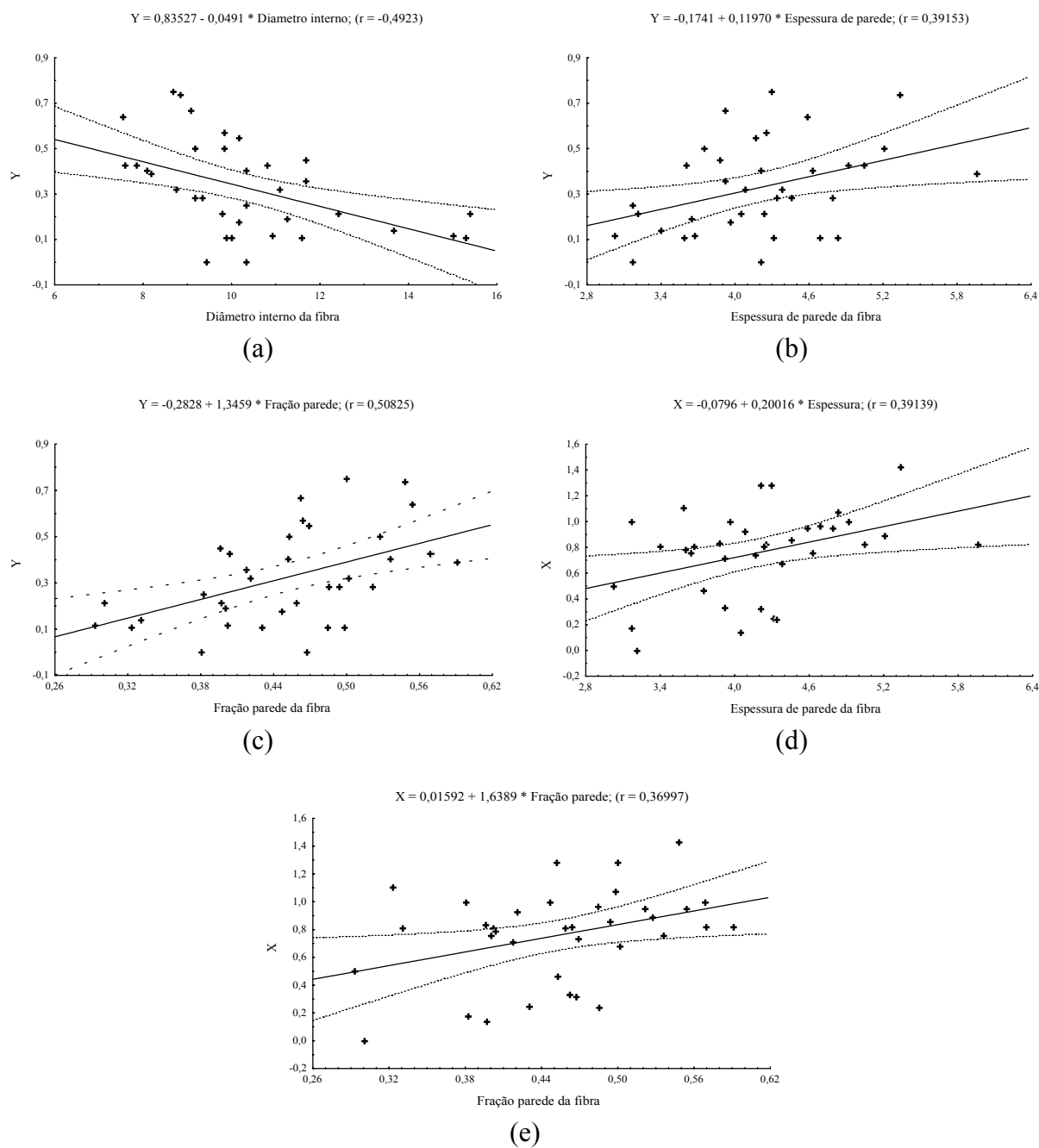


(g)

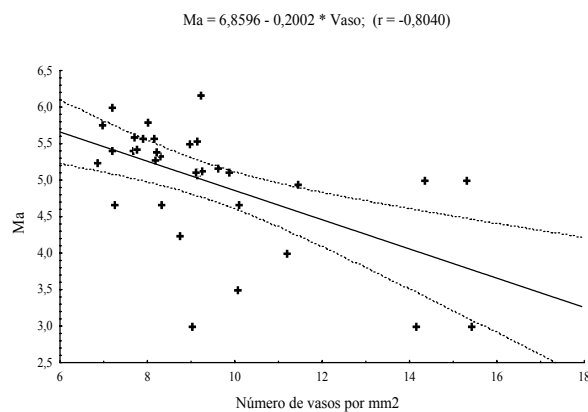


(h)

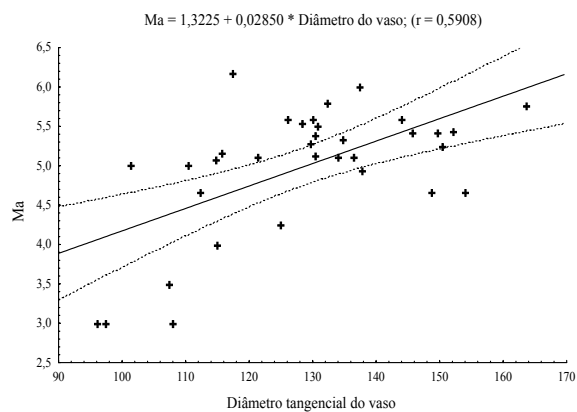
Anexo 11.1. Representação gráfica das correlações significativas entre as operações de usinagem e as características das fibras, sendo Mt= moldura no topo; Pa= perfilagem axial sinuosa; Fc= furação para cavilha e Ma= moldura axial “parada”.



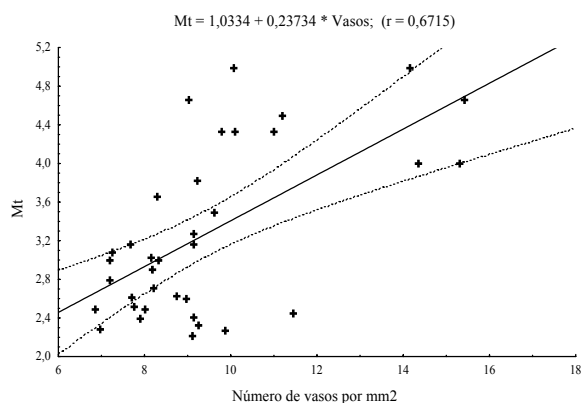
Anexo 11.2. Representação gráfica das correlações significativas entre as aderências do verniz e as características das fibras, sendo Y= aderência na intersecção e X= aderência ao longo das incisões.



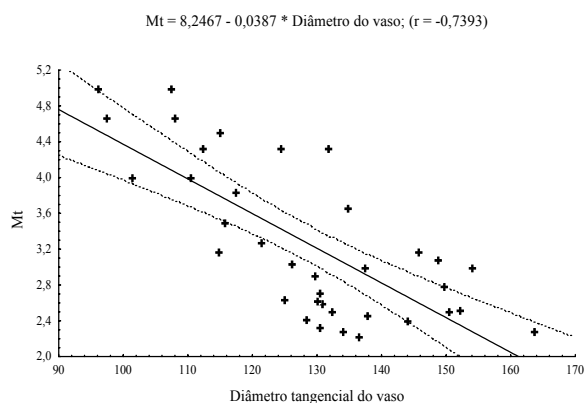
(a)



(b)

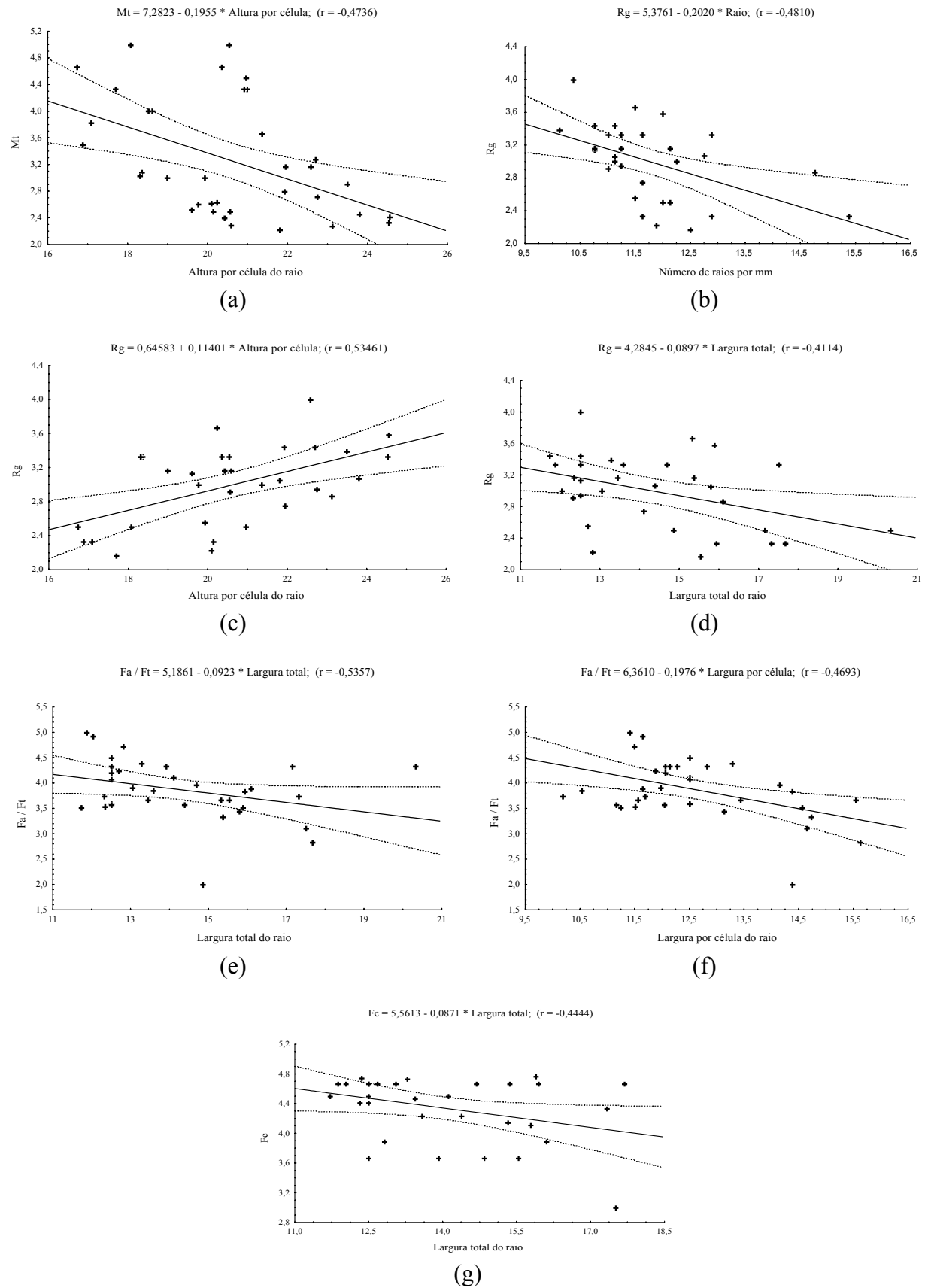


(c)

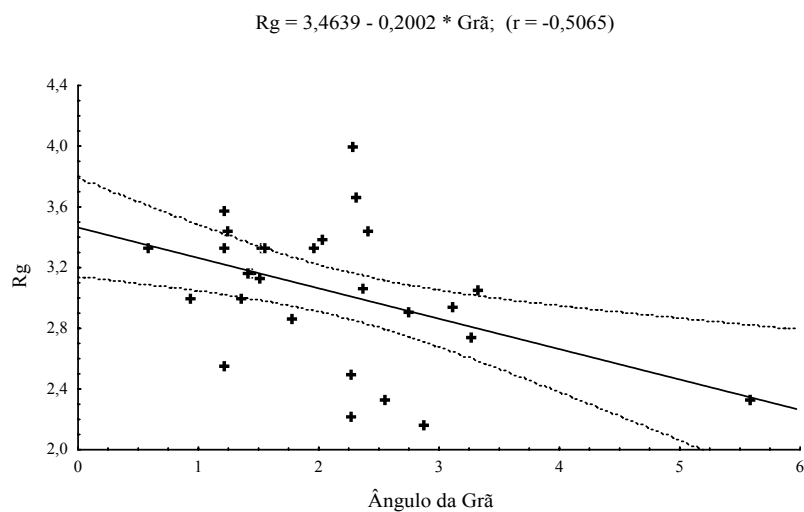


(d)

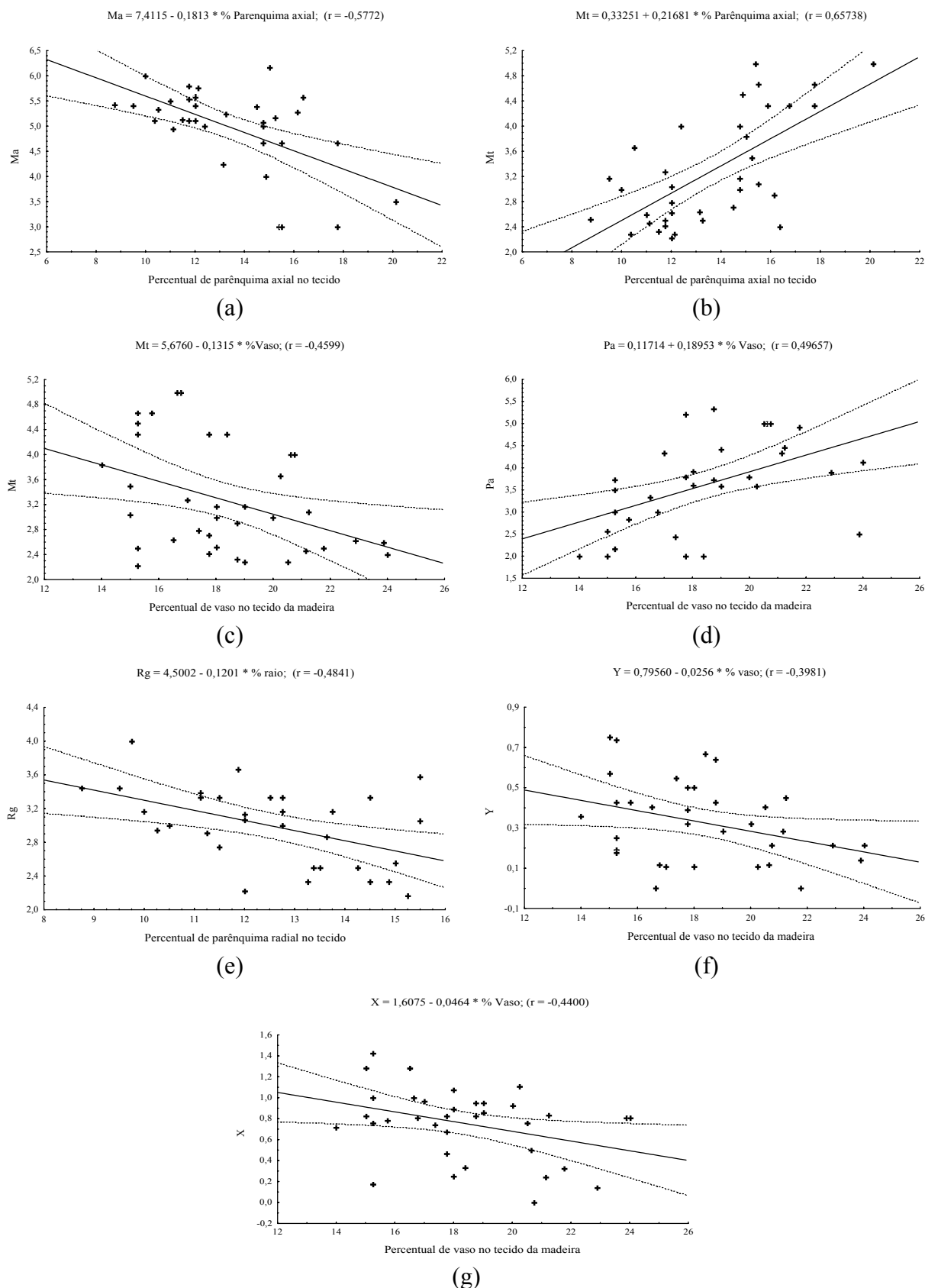
Anexo 11.3. Representação gráfica das correlações significativas entre as operações de usinagem e as características dos vasos, sendo Ma= moldura axial “parada” e Mt= moldura no topo.



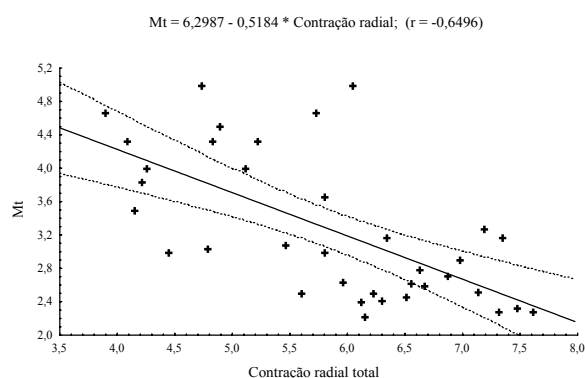
Anexo 11.4. Representação gráfica das correlações significativas entre as operações de usinagem e as características dos raios, sendo Mt= moldura no topo; Rg= rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft= Fresagem axial e transversal e Fc= furação para cavilha.



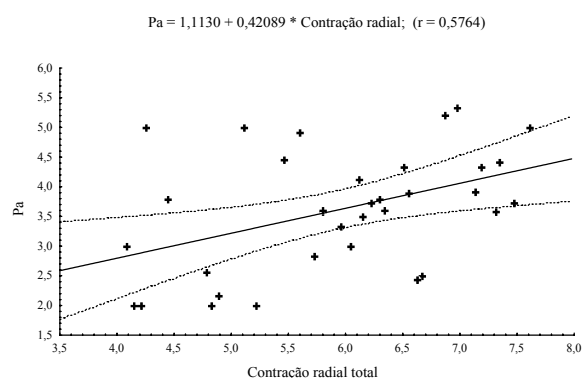
Anexo 11.5. Representação gráfica da correlação significativa entre a operação de rasgo na furadeira horizontal e o ângulo da grã.



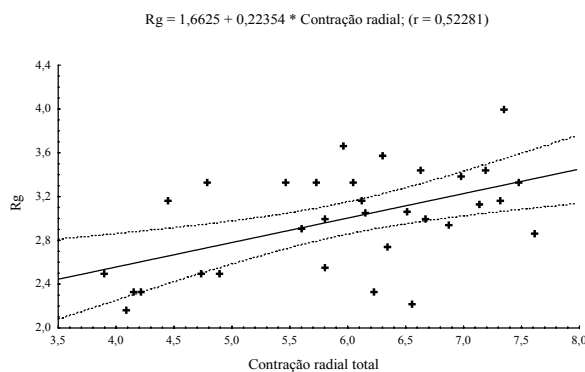
Anexo 11.6. Representação gráfica das correlações significativas entre as operações de usinagem e as aderências do verniz com as características dos raios, sendo Ma= moldura axial “parada”; Mt= moldura no topo; Pa= perfilagem axial sinuosa; Rg= rasgo na furadeira horizontal; Y= aderência na intersecção e X= aderência ao longo das incisões.



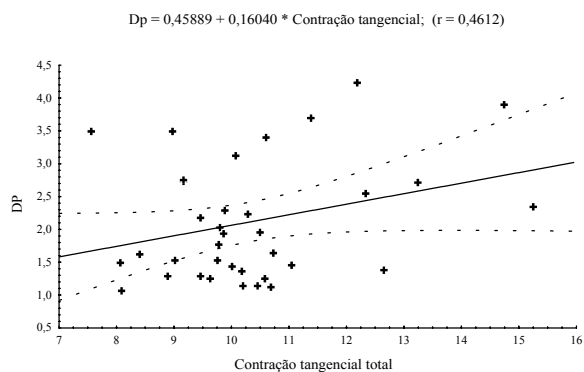
(a)



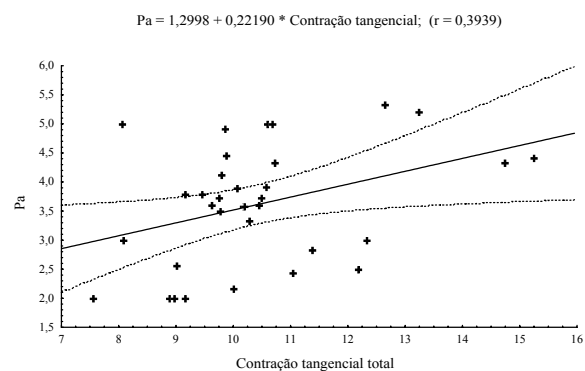
(b)



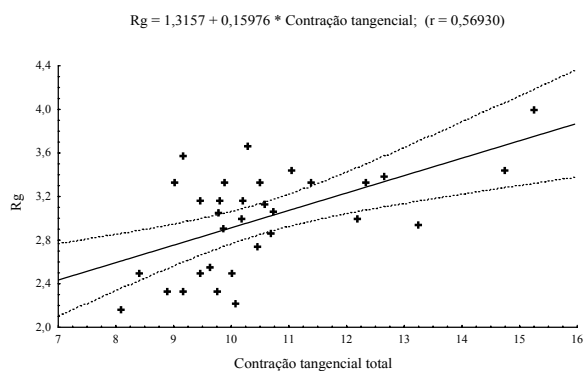
(c)



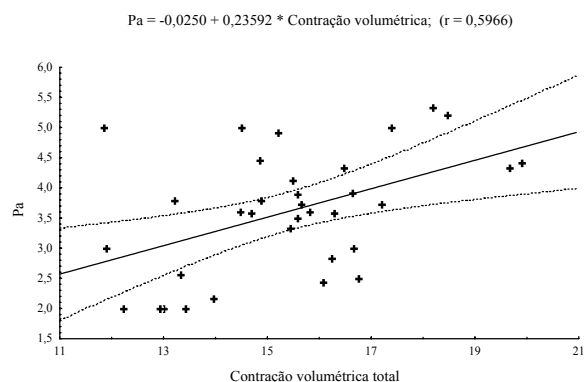
(d)



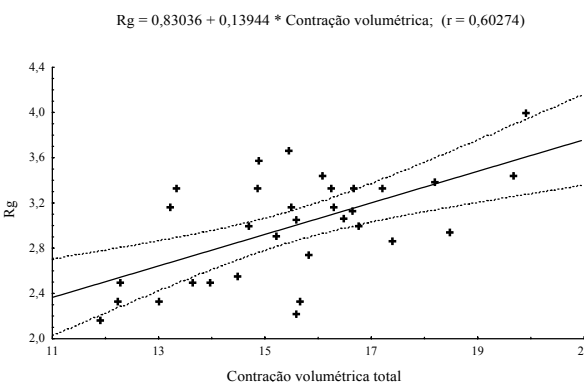
(e)



(f)

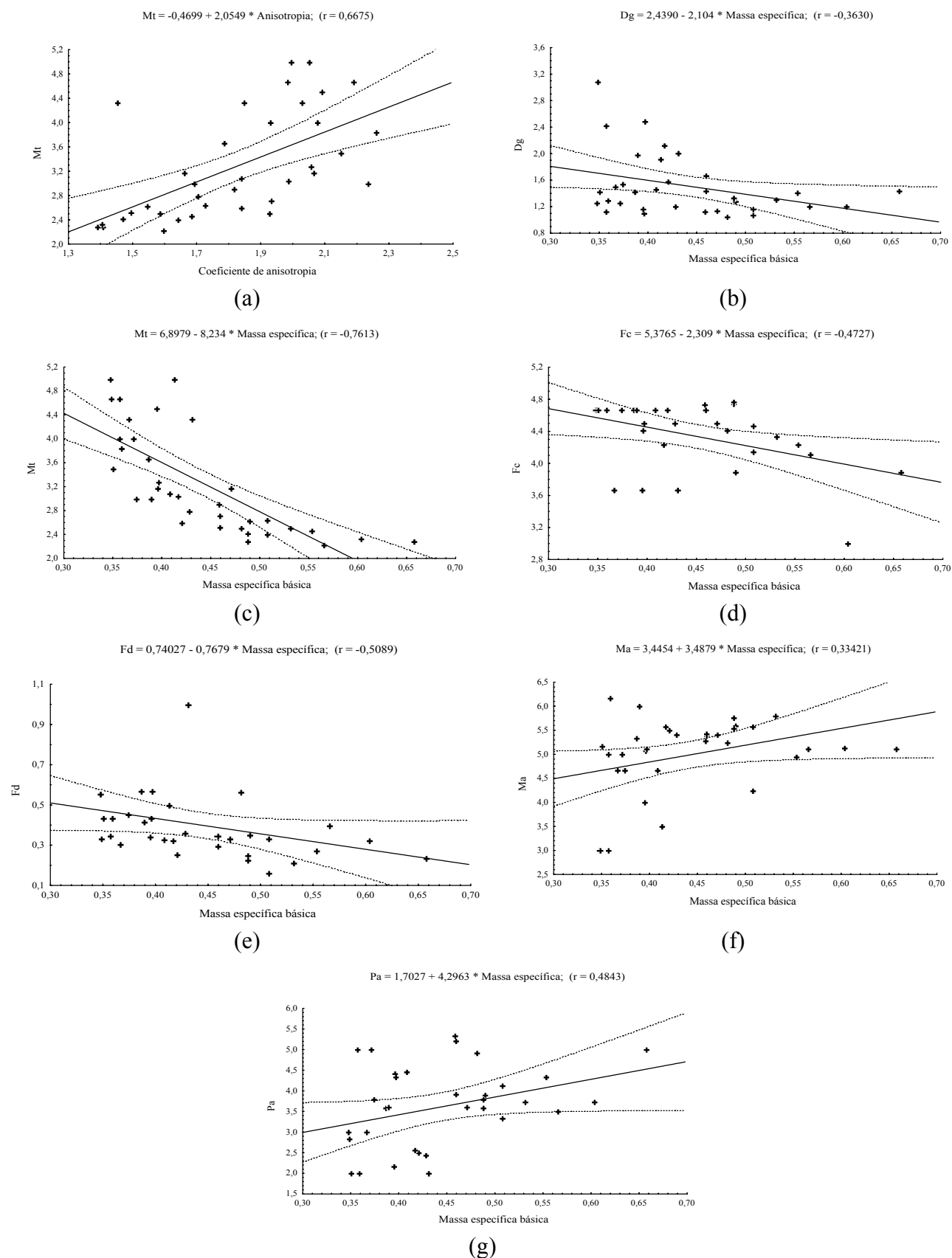


(g)

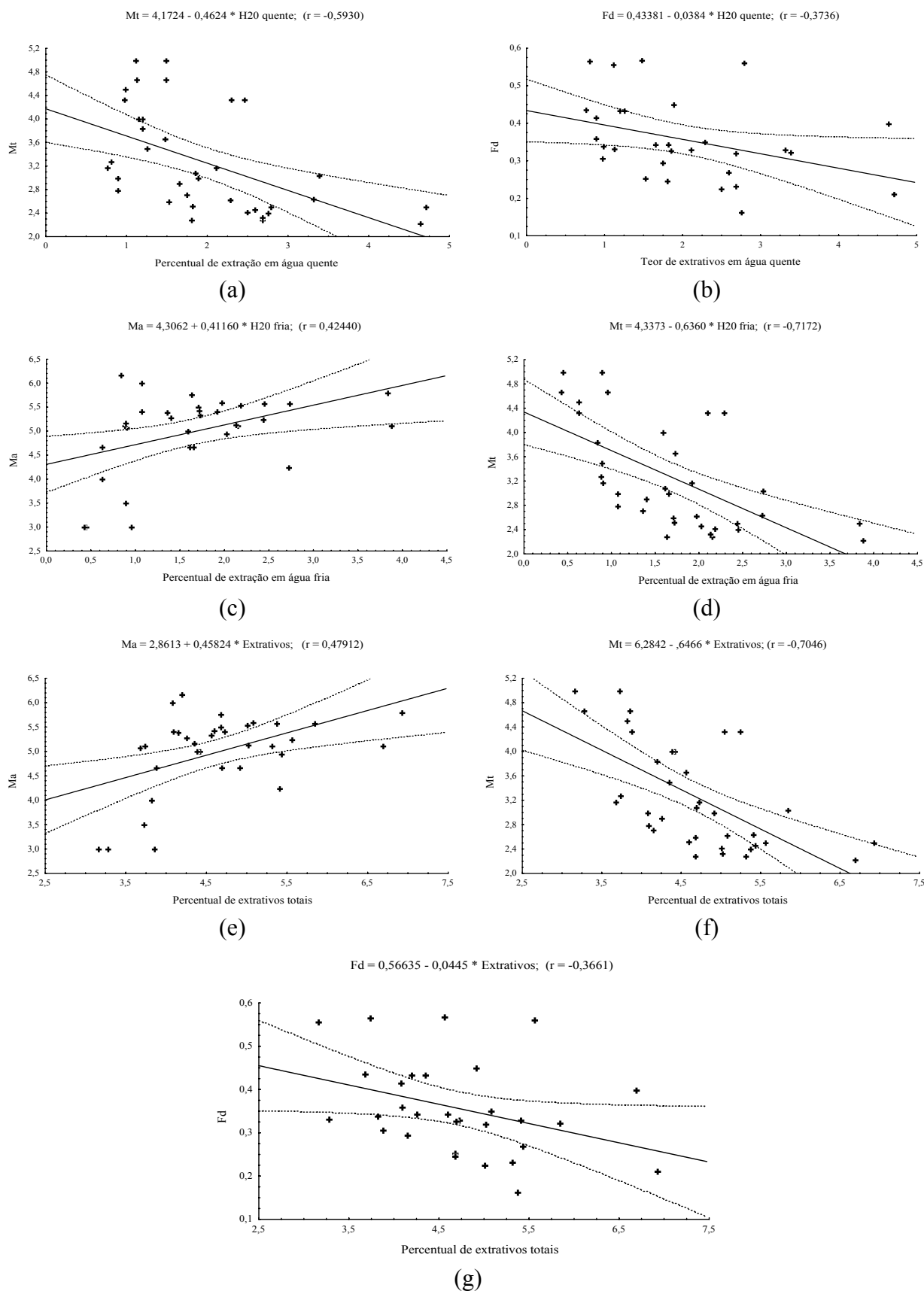


(h)

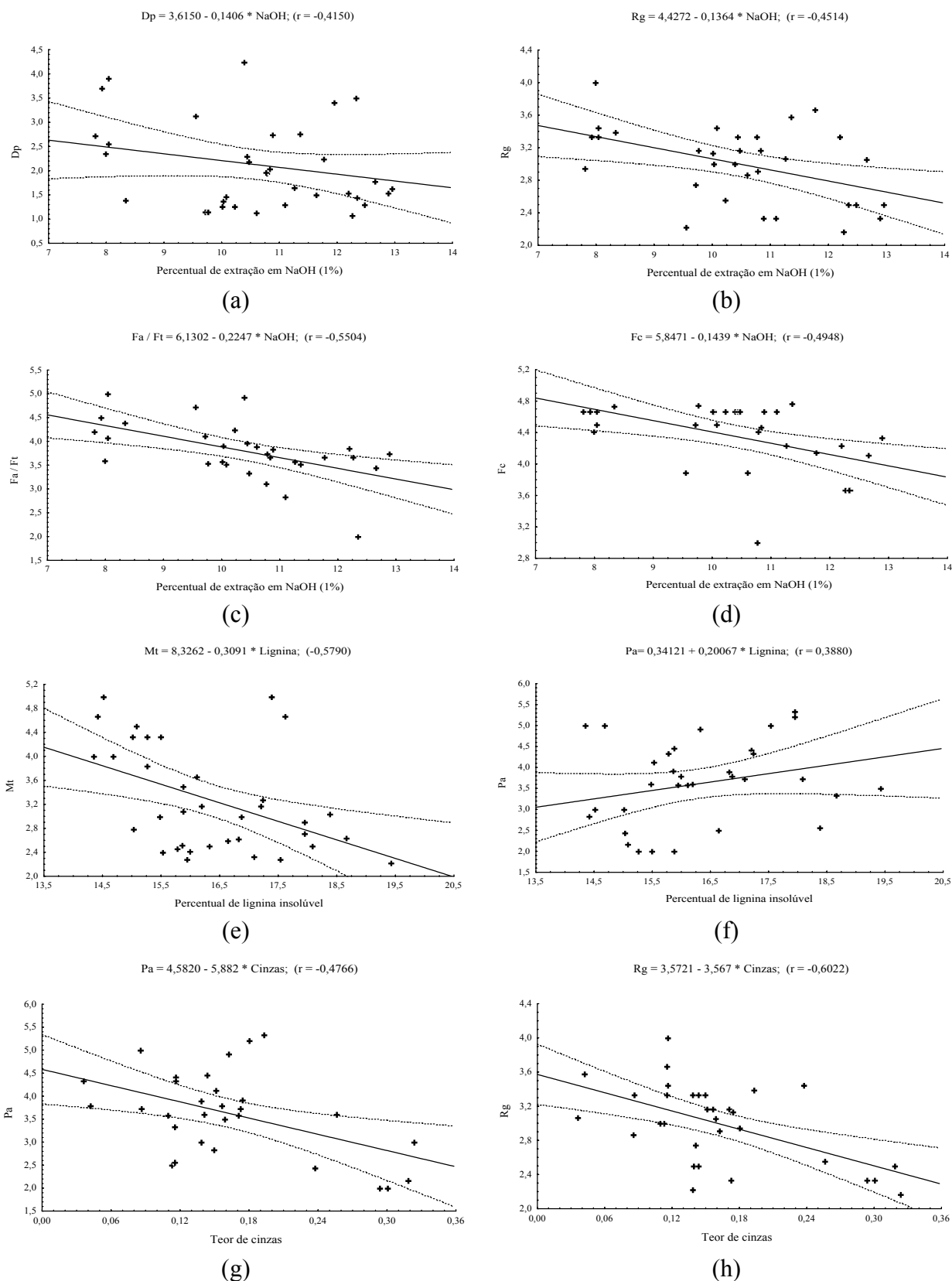
Anexo 11.7. Representação gráfica das correlações significativas entre as operações de usinagem e os percentuais de contrações, sendo Dp= desempenho; Mt= moldura no topo; Pa= perfilagem axial sinuosa; Rg= rasgo na furadeira horizontal.



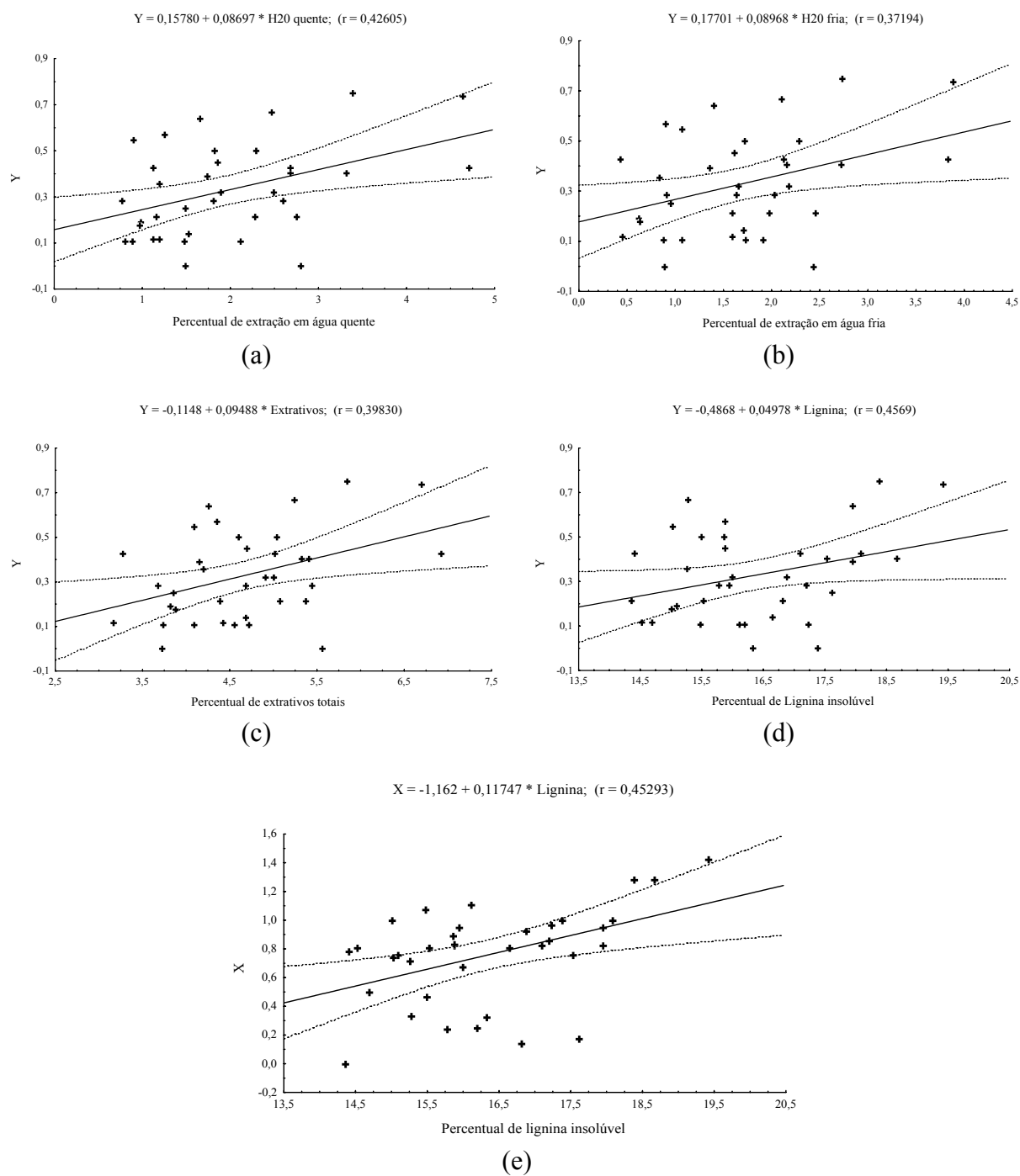
Anexo 11.8. Representação gráfica das correlações significativas entre as operações de usinagem com o coeficiente de anisotropia e com a massa específica básica, sendo Mt= moldura no topo; Ma= moldura axial “parada”; Pa= perfilagem axial sinuosa; Dg= desengrosso; Fc= furação para cavilha e Fd= furação para dobradiça.



Anexo 11.9. Representação gráfica das correlações significativas entre as operações de usinagem com as solubilidades em água quente, em água fria e com o teor de extrativos totais, sendo Mt= moldura no topo; Fd= furação para dobradiça; Ma= moldura axial “parada”.



Anexo 11.10. Representação gráfica das correlações significativas entre as operações de usinagem com as solubilidades em NaOH (1%) e com os teores de lignina insolúvel e de cinzas, sendo Dp= desempenho; Rg= rasgo na furadeira horizontal; Fa/Ft= fresagem axial e transversal; Fc= furação para cavilha; Mt= moldura no topo; Pa= perfilagem axial sinuosa.



Anexo 11.11. Representação gráfica das correlações significativas entre as aderências do verniz com as características químicas, sendo Y= aderência na intersecção e X= aderência ao longo das incisões.