



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Agrícola
Departamento de Construções Rurais e Ambiente

**PARÂMETROS DE CORTE NA USINAGEM
DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO**

Antônio Carlos Néri

Campinas/SP
28 de Fevereiro de 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Agrícola
Departamento de Construções Rurais e Ambiente

**PARÂMETROS DE CORTE NA USINAGEM
DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO**

Antônio Carlos Néri

Orientadora: Prof^a Dr^a.Raquel Gonçalves

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Construções Rurais.

Campinas/SP
28 de Fevereiro de 2003

“Se eu tivesse oito horas para derrubar
uma árvore, passaria seis afiando meu
machado”

Lincoln

À Deus, pela vida e pela
oportunidade de realizar
este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof. Dra. Raquel Gonçalves, por todos os anos de trabalho, pesquisa e acima de tudo a amizade.

À minha querida esposa Adriana M^a Gomes Néri, pelo incentivo, carinho e paciência, principalmente.

Aos meus familiares pelo apoio e incentivo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de recursos financeiros para compra de máquina, equipamentos e confecção de acessórios de corte, utilizados na fase experimental desta pesquisa.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP de Botucatu, em especial aos Profs. Drs. Adriano Wagner Ballarin e Hernando A. Lara Palma, por ter gentilmente cedido a madeira de *Pinus taeda* para confecção dos corpos-de-prova utilizados nesta pesquisa.

Ao Eng. Florestal MSc. Marcelo Nogueira, ao Téc. Lab. de ensaios Ailton e aos Téc. da Marcenaria da Faculdade de Eng. de Ciências Agronômicas da UNESP de Botucatu, pelos trabalhos prestados para realização desta pesquisa, companheirismo e amizade.

Ao aluno do curso de Matemática e Estatística Computacional, Thiago, pelo auxílio na análise estatística.

A aluna de iniciação científica Patrícia Dias, pelo auxílio no processamento dos dados na fase experimental da pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Máquinas Agrícolas Cláudio Umezu (Laboratório de Instrumentação e controle), José Maria, Luiz e Francisco (Oficina), pelo apoio técnico na instrumentação para aquisição de dados e pela confecção dos acessórios de corte.

Ao Departamento de Máquinas Agrícolas da Feagri pelo empréstimo do equipamento de aquisição de dados.

Ao Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves, pela orientação e informações cedidas.

A todos os professores, alunos e funcionários da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP que, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

N356p Néri, Antônio Carlos
 Parâmetros de corte na usinagem de madeiras de
 reflorestamento / Antônio Carlos Néri .--Campinas, SP:
 [s.n.], 2004.

 Orientador: Raquel Gonçalves.
 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

 1. Madeira. 2. Eucalipto. 3. Pinus taeda. 4.
 Usinagem. I. Gonçalves, Raquel. II. Universidade
 Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
 Agrícola. III. Título.

Titulo em Inglês: Parameters of cutting in the wood machining of reforestation

Palavras-chave em Inglês: Wood, Eucalyptus, Loblolly pine, Machining

Área de concentração: Construções Rurais

Titulação: Doutorado

Banca examinadora: Antônio Carlos de Oliveira Ferraz, Marcos Tadeu Tibúrcio

Gançalves, Antônio Rocco Lahr e Antônio Ludovico Beraldo

Data da defesa: 28/2/2003

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Madeiras de reflorestamento no Brasil.....	01
1.2 Contexto do desdobro da madeira no Brasil.....	02
2. OBJETIVOS.....	04
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
3.1 Madeiras de reflorestamento.....	05
3.2 Classificação e anatomia da madeira.....	06
3.3 Formação de madeira de lenho juvenil e adulto.....	09
3.4 Propriedades da madeira.....	10
3.4.1 Anisotropia.....	10
3.4.2 Densidade.....	10
3.4.3 Classes.....	10
3.4.4 Umidade.....	11
3.4.5 Temperatura.....	11
3.5 Corte convencional.....	11
3.5.1 Tipos de corte.....	11
3.5.2 Tipos de corte na madeira.....	18
3.6 Processamento da madeira.....	20
3.6.1 Parâmetros de corte.....	20
3.6.2 Relação de forças de corte com a espessura de corte e densidade.....	22
3.6.3 Corte ortogonal 90-0.....	24

3.6.3.1 Mecanismo de formação de cavacos.....	24
3.6.4 Corte ortogonal 90-90.....	32
3.6.5 Métodos estatísticos para comparação de médias de forças de corte.....	34
3.6.6 Ângulo de saída ideal relativo.....	38
3.7 Comparação de forças obtidas nos cortes ortogonal 90-0; 90-90.....	38
3.8 Forças, pressão específica e potência de corte.....	39
3.9 Medidas de forças de corte.....	42
3.10 Classes de resitência para coníferas e dicotiledôneas.....	44
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.1 Material.....	46
4.2 Metodologia.....	46
4.2.1 Seleção da espécie.....	55
4.2.2 Obtenção e desdobro das toras.....	55
4.2.3 Demarcação da madeira juvenil e adulta.....	56
4.2.4 Confeção e seleção dos corpos-de-prova.....	57
4.2.5 Ensaio preliminares.....	58
4.2.6 Ensaio principais.....	59
4.2.7 Análise estatística.....	61
4.2.8 Relação entre as forças de corte e os parâmetros de corte.....	63
4.2.9 Determinação do ângulo de saída ideal.....	63
4.2.10 Determinação da pressão específica de corte.....	63
5. RESULTADOS.....	64
5.1 Forças de corte.....	64
5.2 Análise estatística.....	65
5.3 Comportamento das forças de corte.....	80
5.4 Ângulo ideal de saída da ferramenta de corte.....	85

5.5 Pressão específica de corte.....	85
5.6 Densidade e umidade.....	87
5.7 Parâmetros de corte relacionados às classes de resistências da NBR 7190/97.....	89
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	91
6.1 Metodologia de determinação das forças de corte.....	91
6.2 Relação das forças de corte com os parâmetros de corte estudados	92
6.2.1 Corte ortogonal 90-0.....	93
6.2.2 Corte ortogonal 90-90.....	96
6.3 Análise estatística das forças de corte.....	98
6.3.1 Comparação das forças de corte para as seis árvores estudadas.....	98
6.3.2 Comparação das forças de corte nas diferentes alturas das árvores.....	99
6.3.3 Comparação das forças de corte nas madeiras adulta e juvenil.....	100
6.3.4 Comparação das forças de corte na madeira juvenil e adulta em função da espessura de corte e ângulo de saída.....	100
6.3.5 Comparação da densidade básica para a madeira juvenil e adulta.....	101
6.4 Ângulo ideal de saída da ferramenta de corte.....	101
6.5 Pressão específica de corte.....	102
7. CONCLUSÕES.....	106
LISTA DE FIGURAS.....	108
LISTA DE TABELAS.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
ANEXOS.....	120

LISTA DE SÍMBOLOS

γ	- ângulo de saída da ferramenta de corte
α	- ângulo de folga da ferramenta de corte
β	- ângulo de cunha da ferramenta de corte
h	- espessura de corte
L	- largura de corte
F_n	- força normal
F_p	- força paralela
F_c	- força principal de corte
F_l	- força lateral
R	- resultante das componentes normal e paralela
ρ	- ângulo da força resultante
N	- força normal de atrito
λ	- ângulo entre a resultante (R) e a força normal de atrito (N)
V_f	- Velocidade de avanço
μ	- coeficiente de atrito na expressão $\mu = \tan(\arctan(F_n/F_p) + \gamma)$
z	- constante do material
R^2	- coeficiente de determinação
cv	- coeficiente de variação
q	- amplitude total estudatizada
s^2	- desvio padrão
F	- valor da tábua, ao nível de significância de $\alpha = 5\%$
d	- diferença mínima significativa na expressão $d = q \cdot cv / \sqrt{r}$
μ	- média aritmética
H_0	- hipótese de nulidade
σ^2	- variância conhecida
$\alpha_{0,05}$	- nível de significância
S^2	- variância desconhecida
K_s	- pressão específica de corte
$1-z$	- coeficiente adimensional
K_{s1}	- constante específica do material (Pressão específica de corte para remoção de um cavaco com área da seção transversal do cavaco de 1mm^2).

PARÂMETROS DE CORTE NA USINAGEM DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO

Autor: Antônio Carlos Néri

Orientadora: Prof. Dr^a. Raquel Gonçalves

RESUMO

As madeiras de reflorestamento têm grande importância na economia nacional, movimentando importantes setores, tais como os de papel e celulose, de recursos energéticos, moveleiros e de construção civil. Embora o Brasil apresente um grande potencial florestal, sendo detentor das maiores reservas florestais tropicais do mundo e possuindo condições de clima e solo favoráveis à implantação de florestas de rápido crescimento, sua participação no comércio internacional de madeiras (2,1%) é, ainda, muito pequena. Em geral, grande parte das indústrias que processam madeiras apresenta baixo rendimento de madeira serrada e qualidade insuficiente do produto final, principalmente devido ao emprego de técnicas de processamento (conhecimento de parâmetros de corte) além de fatores de planejamento da serraria (implantação e Layout) inadequadas. Esse fato revela, portanto, que o setor madeireiro necessita incorporação de inovações tecnológicas. A caracterização de espécies de reflorestamento, no que diz respeito aos parâmetros de usinagem, tais como forças de corte, geometria adequada da ferramenta, espessura de corte, densidade, etc., é imprescindível no processamento da madeira. O objetivo principal deste trabalho foi a determinação dos principais parâmetros de corte (forças de corte, pressão específica de corte e ângulo ideal de saída da ferramenta) para a espécie *Pinus taeda*, mediante o estudo do comportamento das forças de corte em diferentes posições e regiões de madeira juvenil e adulta do tronco. Além desse objetivo, o trabalho pretendeu, também, avaliar a metodologia de determinação de forças de corte para as espécies de eucalipto (*Citriodora*, *Saligna* e *Grandis*), proposta pelo autor em trabalho anterior. Para alcançar esses objetivos, foram ensaiados 96 corpos-de-prova da espécie *Pinus taeda*, obtidos de seis árvores provenientes do horto florestal de Manduri, S.P, com um total de 5760 ensaios. Como resultado, para o *Pinus taeda* foram determinadas as forças em função dos parâmetros espessura de corte e ângulo de saída, bem como foi calculado o ângulo de saída

ideal, que resultou da ordem de 40° para pequenas espessuras de corte e da ordem de 30° para maiores espessuras. Para as espécies de eucalipto (*Citriodora*, *Saligna* e *Grandis*), cujos resultados experimentais foram obtidos pelo autor em trabalho anterior, bem como para o *Pinus taeda*, foi calculada a pressão específica de corte. Os resultados permitiram, ainda, comprovar que a metodologia avaliada é adequada para utilização na espécie estudada.

Palavras-chave: madeira, Eucalipto, *Pinus taeda*, forças de corte.

PARAMETERS OF CUTTING IN THE WOOD MACHINING OF REFORESTATION

Author: Antônio Carlos Néri
Adviser: Prof. Dr^a. Raquel Gonçalves

SUMMARY

The reforestation wood has great importance in the national economy, running important sectors, such as paper and the cellulose, energy resources, furniture and civil construction. Although Brazil presents a great forest potential, holding the biggest forest reserves of the world and possessing soil and climate conditions favorable to the implantation of forests of fast growth, its participation in the wood international trade (2.1%) is, still, very small. The techniques currently used in processing the wood, usually do not provide good income, neither propitiate good quality in the final product as well. Mainly due to the usage of inadequate parameters of the cutting process, along with inappropriate sawmill planning (implantation and Layout). This fact discloses, therefore, that the lumber sector needs the incorporation of technological innovations. The characterization of kinds of reforestation that respect the cutting parameters, such as, cutting force, adequate geometry of the tool, cutting thickness, density, etc., is essential in the processing of the wood. The main objective of this work was the determination of the main parameters of cutting (cutting force, specific cutting force and ideal exit angle of the tool), for the species of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) by the study of the behavior of the cutting force in different positions of the trunk and in different regions of juvenile and adult of wood. Beyond this objective, the work is intended, also, to evaluate the methodology of determination of cutting force for the wood of eucalyptus, proposed by the author in previously work. To reach these objectives, 96 specimens of the specie *Pinus taeda* were assayed, taken from 6 trees proceeding from a research forest of Manduri, S.P, resulting in 5760 tests. As a result, the force as function of the evaluated parameters had been determined for *Pinus taeda*, as well, the ideal cutting angle for specimens thickness environ 0.2 mm was near 40° and for thickness between 0.4 mm and 1.0 mm was near 30°. The specific cutting force was calculated for *Pinus taeda*, as well as for the *Eucalyptus*. The former with experimental results obtained in this work and the latter using experimental results obtained in previous work from the author. Finally, the

results had proved also that the methodology adopted in this research is appropriated to use in the studied species.

Keywords: Wood, Eucalyptus, Loblolly Pine, cutting force.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um recurso natural renovável de extrema importância tanto na questão ambiental como econômica para um país.

O beneficiamento da madeira movimenta setores de destaque na economia nacional, tais como as indústrias de papel, celulose, recursos energéticos, movelarias e construção civil. O constante crescimento do emprego da madeira nestes setores, vêm gerando a necessidade de serem criadas alternativas de utilização racional deste material (compósitos, madeira laminada colada, MDF, OSB, etc.), bem como a utilização de espécies de reflorestamento.

No que se refere à madeira de reflorestamento, estima-se que existam 4,3 bilhões de hectares reflorestados no mundo, sendo 66,1% desta área com dicotiledôneas e 33,9% com coníferas (KRONKA et al. 1993).

1.1 Madeiras de reflorestamento no Brasil

As florestas plantadas ocupam atualmente aproximadamente de 6 milhões de hectares, concentradas principalmente nas regiões sul e sudeste. Atualmente se planta no Brasil cerca de 130.000 hectares/ano, sendo grande parte deste montante (100.000 hectares) destinada ao setor de papel e celulose. As espécies mais utilizadas nos reflorestamentos são os eucaliptos (*Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis*), Pinus subtropicais (*Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Pinus patula*) e Pinus tropicais (*Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus hondurensis*). Outras espécies com áreas florestadas relevantes são o Pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), Seringueira (*Hevea brasiliensis*), Acácia negra (*Acacia mearnsii*), Teca (*Tectona grandis*) e Gmelina (*Gmelina arborea*). Estima-se que anualmente sejam cortados cerca de 246 milhões de m³ de

madeira, sendo 56% deste montante (137,8 milhões de m³) proveniente de florestas nativas e 44% (108,2 milhões de m³) de florestas plantadas. Destes, 73 milhões de m³ são destinados ao uso industrial, 52 milhões de m³ são utilizados como carvão vegetal e 121 milhões de m³ são usados como lenha. Essa produção equivale a 17,6 milhões de m³ de madeira serrada, 4,3 milhões de m³ de chapas (compensados, MDF e aglomerados), e 6,5 milhões de toneladas de celulose (TOMASELLI, 1998).

As indústrias de transformação mecânica da madeira, de forma geral, estão muito aquém do potencial florestal do país, sendo fundamental o desenvolvimento de estudos e pesquisas que levem à melhoria tecnológica, à racionalização do uso de matérias-primas, à maior eficiência e melhor utilização das espécies florestais disponíveis, e à busca de novos mercados internacionais, que permitam a expansão desse setor.

O Brasil apresenta um grande potencial florestal e é detentor das maiores reservas florestais tropicais do mundo, possuindo condições de clima e solo favoráveis à implantação de florestas de rápido crescimento, mas, sua participação no comércio internacional de madeiras ainda é muito pequena, com cerca de 2,1%, tendo participação um pouco mais expressiva, somente no caso de alguns produtos específicos, como é o caso da madeira tropical serrada (11,3%) e da produção de chapas duras (8,1%).

Estimativas indicam que o Brasil possui cerca de 2 milhões de hectares de florestas, com capacidade de produzir 20 milhões de m³ de madeira, na forma de toras, para a produção de serrados e lâminas, em regime sustentado.

1.2 Contexto do desdobro da madeira no Brasil

Em geral as técnicas que vêm sendo normalmente utilizadas no desdobro de madeiras no Brasil, principalmente no desdobro primário, não proporcionam bons rendimentos e nem produtos de boa qualidade. Isso se deve, principalmente, à falta de conhecimentos dos parâmetros de corte da espécie processada, além de fatores de planejamento (implantação e Layout) de uma serraria. Esse fato revela, portanto, que o setor madeireiro necessita incorporação de inovações tecnológicas.

As variáveis de usinagem estão relacionadas às características da espécie processada (densidade, dureza e anatomia), aos parâmetros de corte (forças de corte, forças de atrito, e pressão específica de corte) às condições da madeira (umidade e temperatura), à geometria

e material da ferramenta de corte (afiação, ângulo de saída, ângulo de folga e ângulo de cunha) e ao processo de corte (velocidade de corte, velocidade de avanço, espessura de corte, largura de corte e orientação do corte).

A caracterização de espécies de reflorestamento quanto ao processamento, envolvendo o intercâmbio de informações sobre processos e técnicas de desdobro, bem como o correto planejamento de uma indústria de beneficiamento de madeiras, são imprescindíveis para que o setor consiga atingir níveis competitivos aos padrões internacionais.

Os resultados desta pesquisa visam fornecer, ao setor madeireiro, informações importantes para o correto dimensionamento da potência requerida das máquinas de processamento, bem como informações sobre mecanismos de corte para ajustes de equipamentos e acessórios de corte, para a madeira de *Pinus taeda*, fornecendo condições para a obtenção de um melhor rendimento da madeira serrada e produtos com melhor qualidade final.

2. OBJETIVOS

- Determinação dos principais parâmetros de usinagem (forças de corte e ângulo ideal de saída da ferramenta de corte) para o *Pinus taeda*.
- Verificação de adequação da metodologia para medição dos esforços de corte das espécies de eucalipto, utilizada por NÉRI (1998) para a espécie de *Pinus taeda*.
- Análise do comportamento das forças de corte da espécie *Pinus taeda*, em diferentes posições no tronco (base, meio e topo) e para madeira juvenil e adulta.
- Cálculo da pressão específica de corte para o *Pinus taeda* e para três espécies de eucalipto (*citriodora*, *saligna* e *grandis*).
- Análise de forças e pressão específica de corte associados às classes de resistência da NBR7190/97.

3 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Madeiras de reflorestamento

Eucalipto

O *Eucalyptus* é um gênero de plantas da família das Myrtáceae, da classe dicotiledôneas (Angiospermas) e conta com cerca de seiscentas espécies, grande número de variedades e alguns híbridos, sendo a maior parte originária da Austrália.

Na América do Sul, o Chile foi o primeiro país a receber mudas para o plantio do eucalipto. No Brasil, relatos históricos pressupunham que os primeiros plantios foram realizados no Rio Grande do Sul, enquanto que outros relatos de pesquisa sobre a origem do eucalipto, afirmam que sua introdução no país se deu primeiramente em São Paulo.

O eucalipto foi plantado como árvore decorativa até o princípio do século devido ao seu extraordinário desenvolvimento e não tinha aplicação industrial. Estudos experimentais para aplicação do eucalipto no meio industrial, realizados pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro (CPEF), contribuíram para evolução da espécie. Navarro de Andrade, então diretor do Horto Florestal de Jundiaí, iniciou estudos comparativos entre espécies de eucalipto e espécies nativas, mostrando as vantagens do eucalipto em termos de crescimento, adaptação ao clima, aplicabilidade para os mais diversos fins, viabilidade e competitividade com as espécies normalmente usadas para fins comerciais.

Atualmente o eucalipto é o gênero mais empregado em reflorestamento no Brasil. Em São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Pernambuco e Rio de Janeiro encontra-se as maiores áreas plantadas, enquanto, nos outros estados, o plantio ocorre em menor escala (ANDRADE, 1961 apud NÉRI, 1998).

Pinus

O *Pinus spp.* é um gênero da família botânica das *Pinaceae*, da classe das coníferas (Gymnospermas). É uma árvore de grande porte, podendo atingir de 30m a 50 m de altura, dependendo da espécie.

Segundo MIROV, apud KAGEIAMA e CASER (1982) o gênero *Pinus* provavelmente teve sua origem no norte da Eurásia ou no norte da América, há cerca de duzentos e cinquenta milhões de anos. A partir daí o gênero vem se dispersando pelos continentes europeus e asiáticos, chegando até a América Central e Caribe, onde se formou um centro secundário de evolução, do qual surgiram as incursões para a América do Sul.

PEREIRA (1987) relatou um histórico sobre a introdução do pinus no Brasil. As primeiras coníferas foram introduzidas para fins ornamentais e, em seguida, para fins silviculturais. Posteriormente foram destinadas para suprir a redução de oferta de matéria-prima causada pelo intenso extrativismo nas reservas de Araucária (Pinho-do-paraná), bem como para reduzir a dependência nacional de importação de celulose e resina, produtos obtidos a partir das coníferas.

Com a lei nº 5106 de 1966, de incentivos fiscais, que deu origem ao zoneamento ecológico, a iniciativa privada passou a preponderar sobre o governo, e os reflorestamentos ganharam impulso expressivo.

3.2 Classificação e anatomia da madeira

Taxonomicamente, a madeira se classifica em duas categorias: Gimnospermas e Angiospermas. As coníferas, podendo-se citar especificamente o gênero *Pinus*, fazem parte das Gimnospermas e são denominadas resinosas, não porosas ou “Softwoods” (madeira macia). Apresentam estrutura mais uniforme, quando comparada às dicotiledôneas, e são compostas, principalmente, por traqueídeos, canais resiníferos e raios.

As Angiospermas (dicotiledôneas), também denominadas folhosas, porosas ou “Hardwoods” (madeira dura), representam a grande maioria das madeiras comerciais brasileiras e apresentam uma composição anatômica bem mais complexa do que as coníferas. Os principais elementos que compõem a estrutura anatômica das dicotiledôneas são as fibras, vasos, raios e célula de parênquima.

A constituição da estrutura anatômica do tronco de uma árvore pode ser visualizada na Figura 3.1. Essa estrutura pode ser ainda mais detalhada quando se observam seus planos de corte radial, tangencial e transversal (Figura 3.2).

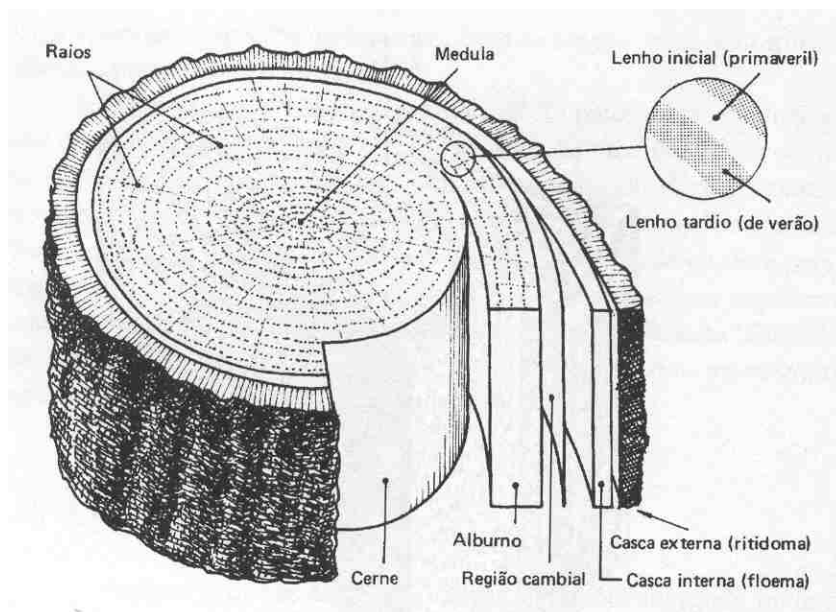


Figura 3.1. Composição do caule em seção transversal de uma conífera (CHIMELO apud GONÇALVES, 2000)

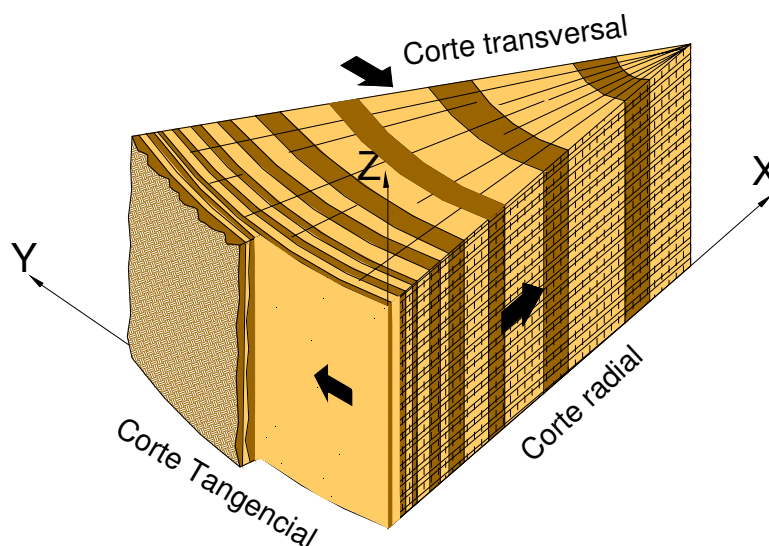


Figura 3.2. Ilustração dos três planos referenciais da madeira, xy - corte transversal), xz - corte radial e yz -corte tangencial (adaptado de Haygreen e Bowyer, 1989) .

A casca externa da madeira (rididoma) é composta de tecidos mortos e tem a função de proteger o tronco contra o ressecamento, o ataque de inseto, microorganismos e as variações climáticas.

A casca interna, denominada líber ou floema, tem a função de conduzir seiva elaborada.

A região cambial, entre o alburno e a casca interna, é constituída de células meristemáticas secundárias e é responsável pela formação dos lenhos inicial (primaveril), final (de verão) e pela formação da casca interna (floema).

A atividade do câmbio é, geralmente, periódica, principalmente em regiões onde o clima tem estações bem definidas. O lenho primaveril caracteriza-se pela fase de crescimento mais rápido do anel nas estações de primavera-verão, originando uma madeira de coloração mais clara e de menor densidade. O lenho tardio ou de verão caracteriza-se pela fase de crescimento lento, nas estações outono-inverno, quando as atividades da região cambial podem até cessar. Este anel apresenta coloração mais escura e tem maior densidade do que o lenho primaveril.

As características distintas na formação dos anéis de crescimento são mais notadas nas madeiras de coníferas, desenvolvidas em regiões de clima com estações bem definidas. Em geral, para madeiras dessas regiões, cada anel de crescimento primaveril e de verão corresponde a um ano de crescimento da árvore. Em regiões tropicais, onde as estações não são bem definidas, os anéis podem não corresponder aos períodos anuais de crescimento, principalmente nas Angiospermas.

As características distintas na formação da madeira têm grande influência na usinagem, devido aos conseqüentes aspectos de resistência mecânica ao corte.

A região do cerne se diferencia, em muitas espécies de árvores, por apresentar coloração mais escura e propriedades de resistência mecânica, (resistência específica, ou seja, em relação ao peso próprio, além de poder ser ainda tratado) superiores, quando comparada ao alburno.

O cerne é formado por células do alburno que perderam a atividade fisiológica de condução de seiva bruta. Segundo GONÇALVES (2000), a transformação de alburno em cerne é acompanhada pela formação de várias substâncias orgânicas, conhecidas

genericamente por extrativos ou infiltrações e, em algumas Angiospermas, pode ocorrer a formação de tilas nos vasos, obstruindo parcial ou totalmente o lúmen dos mesmos.

O alburno é uma região porosa do caule e pode apresentar, em algumas espécies, características de resistência mecânica, densidade e durabilidade natural menores do que a região do cerne.

A medula, que não apresenta forma definida, tem pouca importância em termos de resistência, sendo sua função a de armazenar substâncias nutritivas para a planta na fase inicial de crescimento.

3.3 Formação de madeira de lenho juvenil e adulto

A madeira apresenta características anatômicas distintas, quando se considera a região próxima à medula ou a região próxima à casca. Essas características distintas são mais marcantes nas coníferas do que nas folhosas.

No passado, quando a maior parte da madeira utilizada industrialmente era proveniente de árvores adultas de florestas naturais, pouca importância era dada à diferenciação de zonas no tronco. Atualmente, com o decréscimo constante do suprimento de árvores adultas com grandes diâmetros, provenientes de florestas naturais, tornou-se comum o aproveitamento da madeira em ciclos curtos, como exemplo as espécies de reflorestamento como os *Pinus* e os eucaliptos.

Existem várias referências na literatura internacional demonstrando que as propriedades químicas, físicas, anatômicas e mecânicas da madeira formadas nos primeiros anos de vida das árvores, são diferentes e muitas vezes inferiores às da madeira formada na fase adulta da árvore. Essas referências atribuem este fenômeno aos aspectos ambientais que influenciam o crescimento (PALMA e BALLARIN, 2002).

A madeira juvenil, correspondente a uma região central da árvore e com forma cilíndrica, tem diâmetro aproximadamente uniforme e se estende desde a base até o topo da árvore, podendo formar parte do alburno ou do cerne no tronco, se este último já estiver presente na árvore (KRAHMER; ZOBEL e BUIJTENEN; COWN; EVANS et al., apud PALMA e BALLARIN, 2002).

Segundo RAMSAY e BRIGGS apud PALMA e BALLARIN (2002), a madeira juvenil é o xilema secundário, formado durante a fase jovem do câmbio vascular da árvore

(estágios iniciais da vida da árvore). Este período varia conforme a espécie e pode ser afetado pelas condições ambientais.

3.4 Propriedades da madeira

As propriedades físico/mecânicas da madeira governam a natureza da ruptura nos diferentes processos de usinagem. O conhecimento dessas propriedades é fundamental para o bom desempenho do corte.

3.4.1 Anisotropia

A madeira é um material heterogêneo e apresenta anisotropia em relação as direções principais, nos planos de corte radial, tangencial e longitudinal, ou seja, apresenta diferentes propriedades de resistência e elasticidade entre os diferentes planos de corte. Pode ser considerado um material ortotrópico, ou seja, que apresenta simetria em sua estrutura nos três planos, exibindo assim, simetria elástica nos mesmos (LEKHNISTSKII, 1981). A anisotropia da madeira é uma propriedade que afeta diretamente o seu comportamento na usinagem.

3.4.2 Densidade

A densidade da madeira está intimamente associada à resistência mecânica. Como a usinagem é um processo de corte baseado na tensão de ruptura, a densidade terá influência direta na magnitude forças de usinagem.

3.4.3 Classes

Por apresentarem estruturas diferentes, as espécies pertencentes às classes das Gimnospermas e Angiospermas apresentam comportamento diferenciado na usinagem.

Do ponto de vista da usinagem, as resinas presentes em algumas espécies e a característica geométrica dos vasos ou traqueídeos pode afetar a qualidade da superfície de corte. As resinas podem aderir a ferramenta de corte e causar defeitos no aplainamento, ocorrendo orifícios na superfície, conhecidos como marcas de cavaco ou “Chipmarks”.

O diâmetro dos vasos varia entre as espécies e também no interior dos anéis de crescimento (de 20 μ a 300 μ). Na produção de laminados muito finos (exemplo: 0,25 mm),

a existência de vasos com diâmetros muito grandes pode produzir orifícios dentro do laminado.

3.4.4 Umidade

A água presente na madeira é um elemento que não oferece resistência ao corte, e ao mesmo tempo é um elemento facilitador do corte. A umidade afeta as propriedades mecânicas da madeira, e, por conseguinte, as forças desenvolvidas no processo de usinagem. A madeira seca requer um maior esforço para o corte do que a madeira verde (com umidade acima do ponto de saturação das fibras), devido a contração volumétrica na secagem e o aumento das propriedades de resistência.

Tendo em vista que alguns processos de usinagem são realizados com a madeira verde e outros com a madeira seca, o conhecimento das características de usinagem nestas duas condições torna-se muito importante.

3.4.5 Temperatura

Alguns processos utilizam altas temperaturas para facilitar o corte da madeira. Segundo KOCH (1964), a variação da temperatura durante o corte pode afetar a resistência da madeira, interferindo no processo. Os tratamentos térmicos dados ao material em alguns tipos de corte podem ter um efeito permanente sobre suas propriedades mecânicas.

3.5 Corte convencional

O corte convencional é definido como sendo a ação de uma ferramenta sobre o material a ser cortado produzindo ou não partículas de tamanhos variados. O processo de corte é baseado na tensão de ruptura, envolvendo tensões de compressão, cisalhamento, flexão e tração do material. O corte pode ainda ser definido como um processo mecânico de divisão de um corpo ao longo de uma linha predeterminada utilizando uma ferramenta de corte. Em muitos casos o material pode ser dividido em duas partes gerando novas superfícies. (PEARSON, 1977).

3.5.1 Tipos de corte

Os mais variados tipos de corte têm sido empregados em diversos setores como a agricultura, horticultura, operações florestais e industriais, em geral esses tipos de cortes

são operações onde o material pode ser serrado, ceifado, fatiado, quebrado, decepado e fragmentado. Segundo PEARSON (1977), os tipos de corte podem ser definidos como:

Corte sólido:

A tensão de cisalhamento neste tipo de corte desenvolve-se em toda a seção do material depois de iniciar o contato, suficientemente grande para criar simultâneas rupturas nesta. Este tipo de corte é esperado em materiais de elevado módulo de elasticidade a compressão, com igual tensão de cisalhamento em todas direções e com velocidade de corte relativamente baixa. Isto é um tipo comum de cisalhamento de ruptura em materiais como metais, granito ou solo duro.

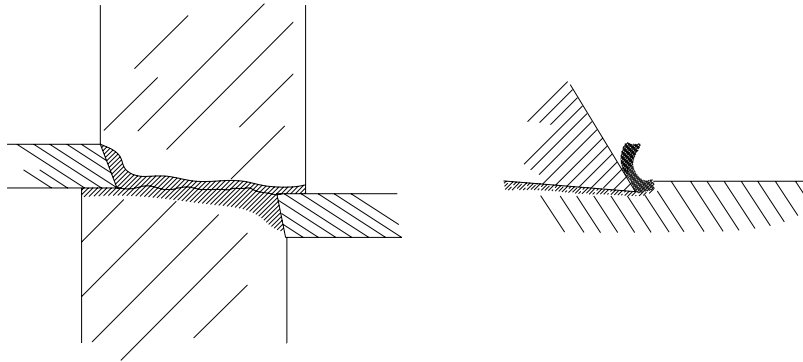


Figura 3.3. Esquema e exemplo de corte sólido

Corte plástico:

Especialmente no começo do corte a tensão principal local desenvolve-se imediatamente abaixo do ponto de contato com o gume, o qual pode exceder a tensão do material, resultando no local deformação plástica ou fluxo do corpo. O tamanho da área afetada depende principalmente da extensão do gume ou raio do gume (sharpness) .

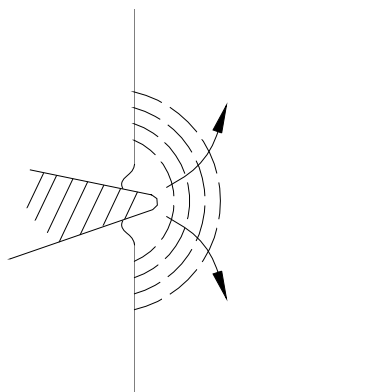


Figura 3.4 Esquema de corte plástico

Corte sólido por compressão:

Para material com seção tubular ou que contém o núcleo mole, o corte das fibras é normalmente precedido por uma fase de compressão, durante o qual há um colapso da cavidade interna, antes que qualquer fibra seja cortada.

CHANCELLOR apud PEARSON (1977), em estudos com cortes de talos de alfafa com lâmina cega e baixa velocidade de corte, utilizando um microscópio observou que uma compressão inicial do talo de alfafa ocorreu, continuamente até que o mesmo foi aplainado em duas folhas e que a força na ferramenta aumentou até que o meio do talo, acomodando-se contra a lâmina rompeu de repente e depois, retornou parcialmente à sua forma arredondada. O aumento do movimento da lâmina e o aumento das forças ocasionaram deformações, até que uma ruptura brusca do meio do talo veio a ocorrer.

No corte por compressão, após a pré-compressão das camadas, a qual leva a ruptura inicial, adicional compressão toma lugar no material mais adiante, abaixo das camadas. O efeito da compressão estende significativamente para os lados do deslocamento da lâmina. O volume de material afetado é influenciado pela parte cega da faca, pelo ângulo oblíquo e pela espessura da camada. Quando se corta uma camada espessa do talo, uma compressão afeta uma região mais larga do material, resultando em elevada compressão e demanda de energia. Para similar razão, um elevado ângulo do gume requer elevadas forças e energia de corte, devido ao aumento da área de contato o que aumenta a região de compressão. (Figura 3.5).

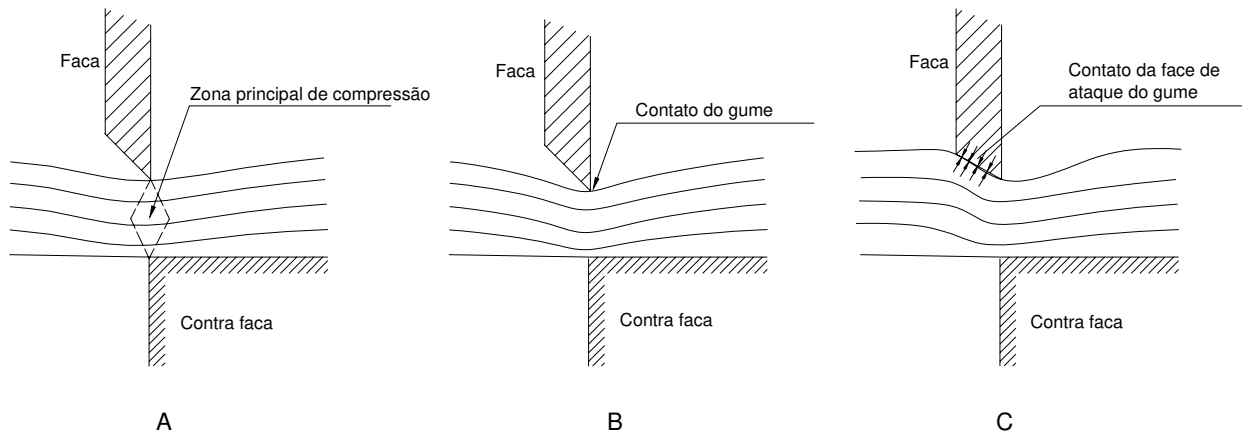


Figura 3.5. Zonas de compressão das camadas do material (A)
e compressão com gumes de ângulos diferentes (B, C)

Corte por tração localizada:

Em materiais biológicos constituídos por resistentes fibras ou colênquima/casca envolvendo e apoiando em um material macio entre as fibras, o corte pode ocorrer em ruptura gradual por tração das fibras. O ponto de carga do gume irá empurrar a fibra para dentro da parte do material macio. A fibra adquire somente melhor suporte da célula adjacente e deva levar consigo a carga de tensão, desde então estas fibras são finalmente ancoradas mais adiante fora do gume. Finalmente a ruptura por tração ocorre e a carga irá se transferir para a próxima fibra (Figura 3.6).

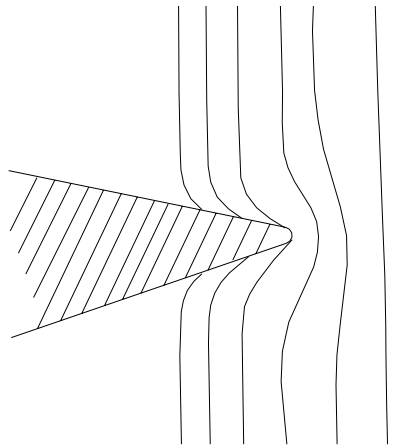


Figura 3.6. Esquema de corte por tração localizada

Corte por cunha:

Se a faca ou a contra faca é afiada com um pequeno ângulo do gume e o atrito nos lados da faca é baixo, forças perpendiculares no movimento da faca podem ser criadas, suficientemente capaz de separar o material por uma tração perpendicular ao corte. A ruptura ocorre à frente da ferramenta de corte. Este tipo de corte é sempre precedido por algumas outras formas de deformação do material e pode ser chamado de “cut splitting” corte por rachadura do material (Figura 3.7).

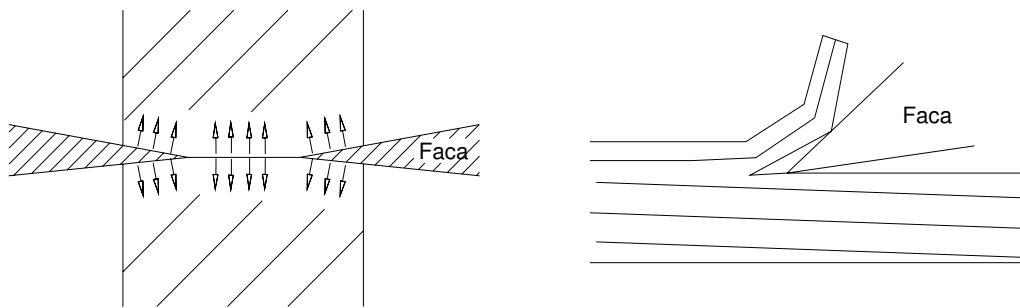


Figura 3.7. Esquema de corte por cunha

Corte por Flexão:

Se a folga entre a faca e a contra faca for grande, a força pode criar um substancial momento fletor em torno do gume da contra faca. A ruptura final do material pode ocorrer por flexão, precedida da compressão (Figura 3.8).

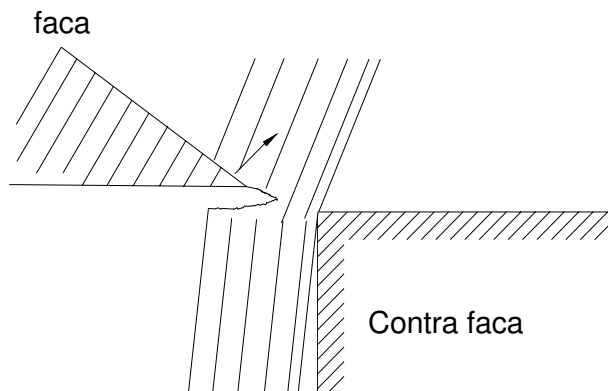


Figura 3.8. Esquema de corte por flexão

Corte por “Tearing” (partir/rasgar)

Para uma grande folga entre a faca e a contra faca, o material pode não vir a romper por flexão, mas por esmagamento do mesmo. No movimento contínuo da faca as forças de atrito ao redor do gume podem se tornar suficientemente grande para rasgar o material, especialmente depois que o material foi submetido a um esmagamento (Figura 3.9).

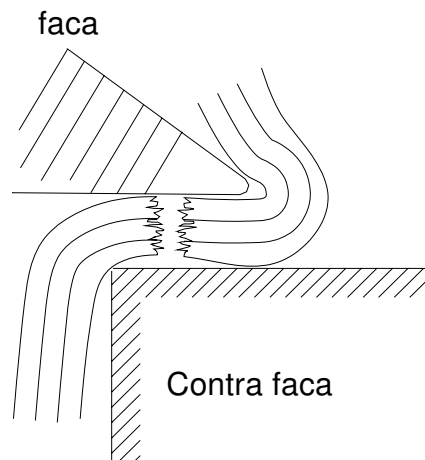


Figura 3.9. Esquema de corte por “Tearing”

Corte por raspagem “Scraping”

Se a faca tem um movimento com valor pequeno ou negativo do ângulo de saída da ferramenta (ângulo de ataque), e o ângulo de inclinação (slant) do material for também muito grande, o resultado pode ser o deslizamento (raspagem, Figura 3.10) ao longo da superfície ao invés de penetração perpendicular do material. O corte pode ser iniciado onde um aumento da força de contato é combinada com um ponto de baixa resistência a ruptura do material.

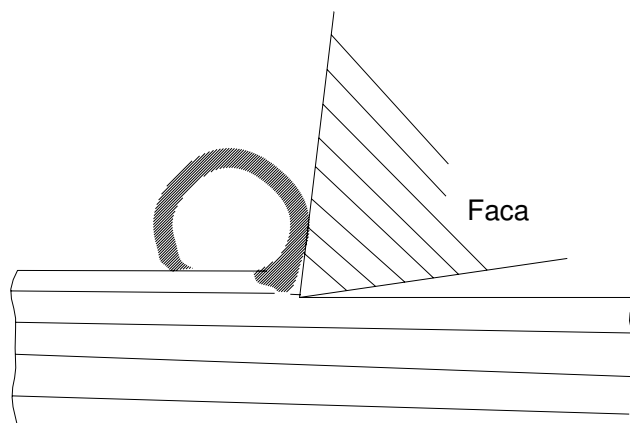


Figura 3.10. Esquema de corte por raspagem “Scraping”

Corte por fatiamento “Slicing”

Se no movimento prosseguido do gume tiver uma componente ao longo do gume, um deslizamento pode também ocorrer ao longo do gume. Isto é denominado um corte oblíquo para pequenos valores do ângulo oblíquo. Para valores do ângulo oblíquo entre 45 e 90° o corte é denominado corte por fatiamento (Figura 3.11).

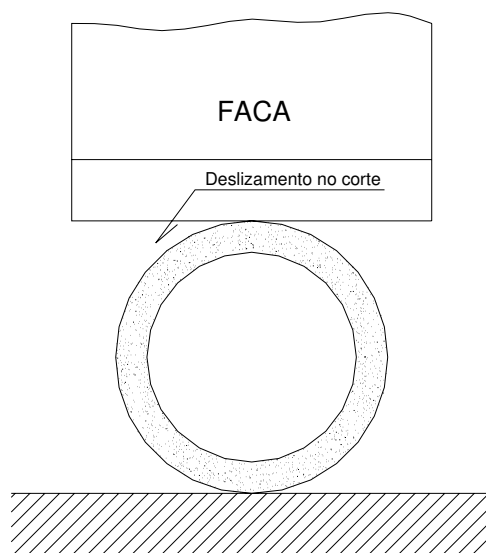


Figura 3.11. Esquema de corte por fatiamento

3.5.2 Tipos de corte na madeira

Existem dois tipos básicos de corte na madeira, o ortogonal e o periférico.

O corte ortogonal pode ser entendido pela notação definida por MCKENZIE (1960, Figura 3.12), utilizando dois numerais, onde o primeiro é ângulo entre a aresta principal da ferramenta de corte e as fibras da madeira e o segundo o ângulo entre a direção de corte e as fibras da madeira, sendo definidos três tipos de corte 90 - 0, 90 - 90 e 0. No corte ortogonal o fio de corte da ferramenta é perpendicular à direção de movimento da peça de madeira. Exemplo de corte ortogonal é o tipo de corte realizado pelas serras de fita.

No corte periférico a ferramenta de corte é instalada em um cabeçote rotativo, a fim de se obter um mesmo cilindro de corte. As operações de aplainamento, fresamento e torneamento são exemplos de corte periféricos, mas são situações de trabalhos bem próximas de um corte ortogonal.

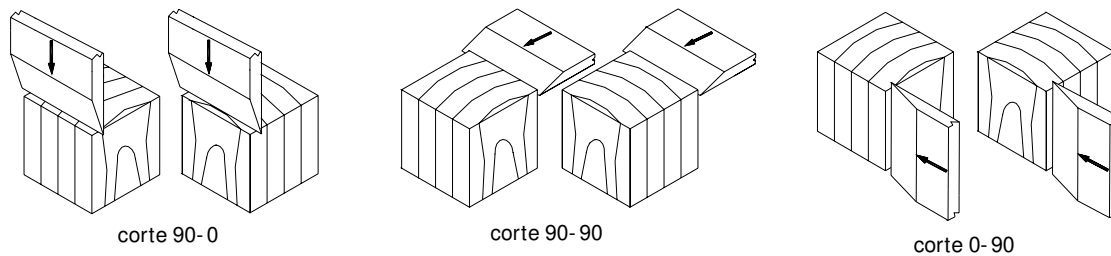


Figura 3.12. Principais tipos de corte ortogonal
(HOADLEY apud NÉRI,1998)

WOODSON e KOCH (1970) definiram uma simbologia padrão para as forças e ângulos de corte ortogonal como pode ser visto na Figura 3.13.

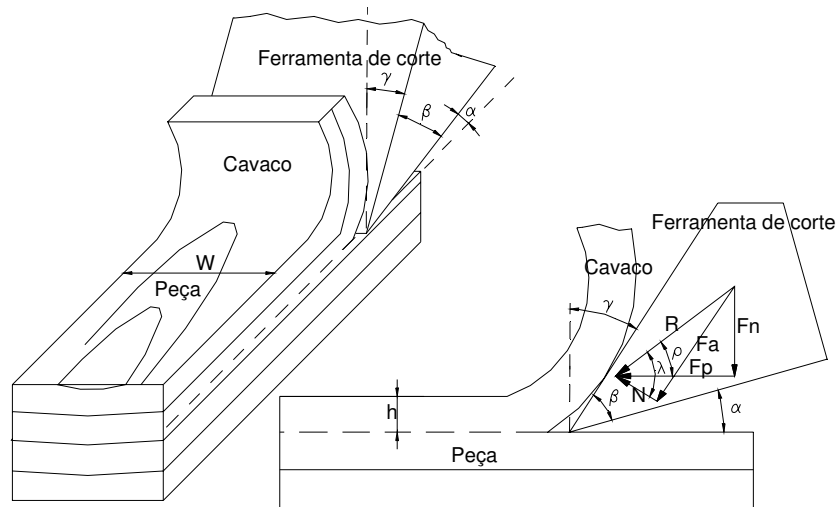


Figura 3.13. Ângulos de corte e componentes das forças
(Adaptada de WOODSON e KOCH, 1970)

Onde:

γ = ângulo de saída - é o ângulo entre a superfície de saída da ferramenta de corte e um plano perpendicular à superfície usinada.

α - ângulo de folga - ângulo formado entre a superfície principal de folga e a superfície usinada da peça.

β - ângulo de cunha da ferramenta – ângulo entre a superfície de saída da ferramenta e a superfície de folga da cunha de corte.

h - espessura de corte – espessura calculada do cavaco a ser removido, tendo em vista que a espessura real do cavaco varia durante o corte. Essa espessura é medida normalmente à superfície de corte e segundo a um plano perpendicular à direção de corte.

L - largura de corte – É a largura calculada da seção transversal do cavaco. No corte ortogonal esta largura corresponde ao comprimento da aresta de corte da ferramenta.

F_n - força normal - componente perpendicular à força paralela e perpendicular à superfície gerada;

F_p - força paralela: componente que age paralelamente ao movimento relativo da ferramenta;

F_a - força de atrito - força entre a superfície da ferramenta de corte e o cavaco produzido;

F_l - força lateral – componente perpendicular ao plano formado pelas forças paralela e normal

R - resultante das componentes normal e paralela: R representa a soma da força normal com a força paralela;

ρ - ângulo da força resultante: ângulo no qual a tangente é igual à força normal dividida pela força paralela;

N - Força normal de atrito: que ocorre na interface entre a ferramenta de corte e o cavaco;

λ - ângulo entre a R e a força normal de atrito N: ângulo no qual a tangente é igual à força de atrito dividida pela força normal de atrito;

3.6 Processamento da madeira

Apesar de grandes avanços terem sido alcançados em relação à caracterização físico/mecânica das madeiras brasileiras, dentre os quais pode ser citada a elaboração da Norma de Projetos de Estruturas de Madeiras (NBR 7190/1997), a área de usinagem de madeiras, no Brasil, ainda é carente de conhecimentos básicos. A eficiência de corte poderia ser melhorada, se no processamento da madeira fossem consideradas as especificidades da espécie processada e os parâmetros de corte, os quais, afetam diretamente o custo da operação, o rendimento de madeira serrada e a qualidade do produto final.

3.6.1 Parâmetros de Corte

Segundo WOODSON e KOCH (1970), alguns parâmetros relacionados ao corte da madeira interferem na usinagem.

Esses parâmetros são:

a) Forças de corte

Para melhor compreensão do comportamento da madeira à usinagem nos diferentes processos de corte, um dos parâmetros fundamentais a estudar são as forças de corte geradas durante o processo. A força de corte paralela tem grande importância na determinação da geometria da ferramenta e no dimensionamento da potência requerida das máquinas em uma serraria. A força de corte normal está intimamente relacionada com a qualidade da superfície usinada.

b) ângulo de saída (γ)

Normalmente as forças de corte decrescem com aumento de γ . Para cada espécie deverá existir uma faixa ótima para o ângulo de saída, na qual será obtida a melhor qualidade de superfície.

c) ângulo de folga (α)

Este ângulo deverá ter um valor mínimo que permita a redução do contato da superfície de folga da ferramenta com a peça da madeira.

d) ângulo de cunha (β)

Este ângulo está relacionado à resistência da ferramenta de corte ao choque e ao desgaste.

e) espessura de corte (h)

As forças de corte estão relacionadas direta e proporcionalmente à espessura de corte.

f) Orientação das fibras em relação ao corte

A fibra na madeira é o elemento que apresenta maior resistência ao corte. Tanto a inclinação das fibras em relação ao plano de corte quanto a direção de corte escolhida, influenciam no módulo das forças de usinagem.

g) afiação da ferramenta de corte

O estado de afiação da ferramenta de corte pode afetar as forças de corte e também a qualidade do corte. Se a ferramenta não está bem afiada ou desgastada, o ângulo de saída diminui ou se torna negativo, produzindo um afundamento na superfície da madeira que ocasiona o aparecimento de forças de atrito elevadas. Neste caso as forças de corte tornam-se também maiores. O desgaste das ferramentas de corte dá origem ao defeito conhecido com o nome de fibra saliente (“raised grain”), produzida pela diferença de espessura de corte entre a madeira final e inicial.

h) atrito entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta de corte

O atrito entre o cavaco e a superfície da ferramenta eleva a energia necessária para o corte. A força de atrito varia principalmente com o tipo de cavaco, é pouco afetada pela rugosidade na face da ferramenta e sofre menor variação em relação ao ângulo de saída e espessura do cavaco quando comparado à influência do tipo de cavaco e com a espécie de madeira. A estrutura anatômica da madeira é, então, fator determinante na força de atrito (GONÇALVES e RUFFINO, 1993).

i) vibração lateral

Quando as fibras da madeira não estão bem alinhadas em relação à direção do corte, podem surgir forças laterais que provocam vibração e instabilidade no corte.

3.6.2 Relação de forças de corte com os parâmetros espessura de corte e densidade

Segundo NERI (1998), as relações entre a força de corte e os parâmetros espessura de corte e densidade não são lineares para as espécies de eucalipto citriodora, saligna e grandis. Esse comportamento pode ser explicado pelos diferentes tipos de cavacos formados, os quais afetam as forças geradas (Figura 3.14).

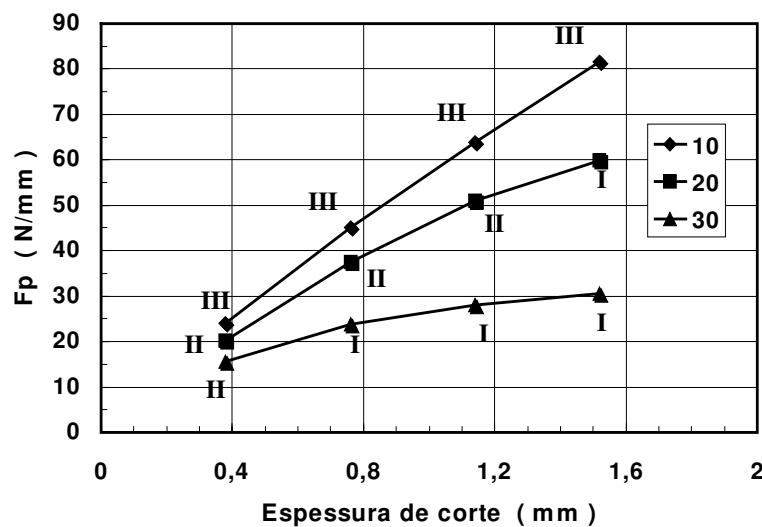


Figura 3.14. Força paralela média no corte 90-0 em função da espessura de corte, dos ângulos de saída (10° , 20° e 30°) e do tipo de cavaco (I, II e II). Corpo-de-prova tangencial de *E. citriodora* (NÉRI, 1998).

A força de corte paralela decresce com o aumento do ângulo de saída (Figura 3.15). Em geral a força de corte paralela aumenta com o aumento da densidade. Esse efeito depende do ângulo de saída utilizado (Figura 3.16).

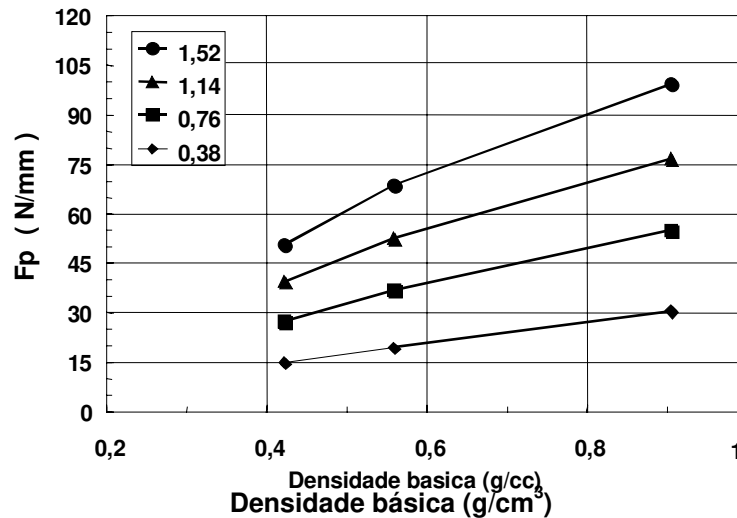


Figura 3.15. Força normal média no corte 90-90 em função da densidade básica da madeira e da espessura de corte (0,38; 0,76; 1,14 e 1,52mm).
Corpo-de-prova tangencial ; $\gamma = 30^\circ$ (NÉRI, 1998).

O efeito da espessura de corte na força é dependente do ângulo de saída utilizado.

Para o eucalipto saligna e o citriodora, a força normal média passou de positiva à negativa (faca saindo ou puxando a peça de madeira) entre os ângulos de saída de 20° e 30° (Figura 3.16).

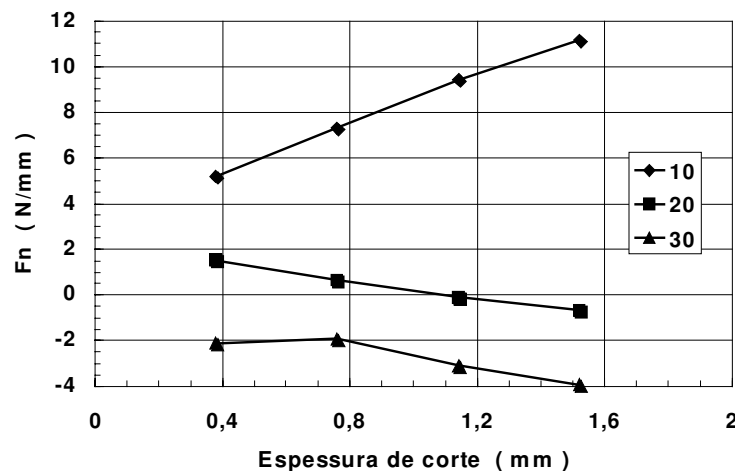


Figura 3.16. Força normal média no corte 90-0 em função da espessura de corte e dos ângulos de saída (10° , 20° e 30°).
Corpo-de-prova tangencial de E. citriodora (NÉRI, 1998).

3.6.3 Corte ortogonal 90-0

Ocorre no processamento na direção paralela às fibras no sentido longitudinal da tora. As serras circulares quando são ajustadas para fazer ranhuras rasas e as plainas trabalham em uma situação bem próxima ao corte 90-0.

No corte 90-0, observa-se a formação de três tipos distintos de cavacos (cavaco do tipo I, II e III), cujas nomenclaturas foram definidos por FRANZ (1958).

A qualidade da superfície e os defeitos de usinagem estão relacionados com o tipo de cavaco formado.

3.6.3.1 Mecanismo de formação de cavacos

Em alguns tipos de processamento, a qualidade da superfície usinada tem grande importância no processo e, portanto, o estabelecimento de parâmetros que permitam seu monitoramento é fundamental. A qualidade da superfície usinada está associada ao tipo de formação do cavaco, o qual, por sua vez, está diretamente relacionado ao ângulo de saída da ferramenta, à espessura de corte e ao valor e direção da força normal. No corte 90-0 (corte paralelo), dependendo dos parâmetros de corte citados, podem ser obtidos três tipos distintos de cavacos:

1) Cavaco do tipo I

Este tipo de cavaco tem a formação cíclica e a ruptura se dá por fendilhamento, em um plano à frente da ferramenta de corte, e o cavaco se separa como uma viga engastada (Figura 3.17). As etapas de formação são:

- a) compressão paralela às fibras;
- b) abertura de fenda à frente da aresta de corte da ferramenta;
- c) ruptura por fendilhamento seguindo a direção das fibras;
- d) o fendilhamento continua até que os esforços de flexão se tornam o fator limitante e o cavaco se quebra como se fosse uma viga engastada;
- e) um outro ciclo se inicia.

Na formação do cavaco do tipo I a resistência ao fendilhamento e a flexão condiciona o comprimento do cavaco. Madeira com umidade elevada pode produzir cavacos mais longos.

Os fatores que favorecem a formação de cavacos do tipo I são:

- a) baixa resistência ao fendilhamento combinada com elevada resistência à flexão;
- b) espessura de cavaco grande;
- c) elevado ângulo de saída ($\gamma > 25^\circ$); ângulos de saída de 25° à 35° , geralmente produz cavacos tipo I porque a força de corte normal (F_n) é geralmente negativa e pouco depende da espessura do cavaco e da umidade da madeira.
- d) baixo coeficiente de atrito (μ) entre o cavaco e a face de ataque da ferramenta de corte;
- e) baixo teor de umidade.

As características do cavaco tipo I são:

- a) fragmentação da fibra;
- b) baixo requerimento de energia devido a menor resistência à tração perpendicular às fibras ou fendilhamento.
- c) baixo desgaste da ferramenta de corte. O fio da ferramenta de corte não trabalha muito, já que a ruptura se produz à frente da aresta de corte.

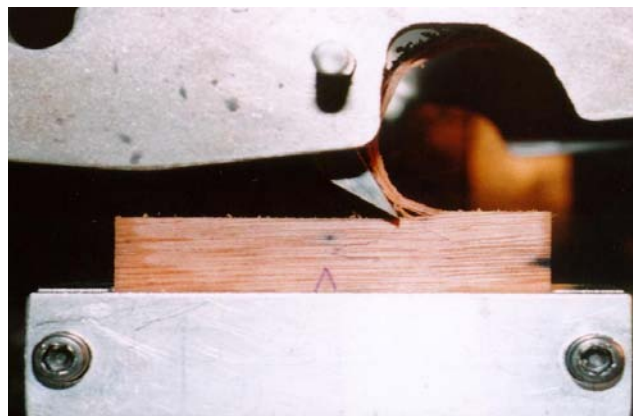


Figura 3.17. Cavaco tipo I obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0.
Espécie: Eucalipto grandis, espessura de corte: 1,52 mm e
ângulo de saída: $\gamma = 30^\circ$. (NÉRI, 1998).

A Figura 3.18 demonstra o comportamento das forças de corte paralela, normal e lateral. O gráfico é de picos e descreve a formação do cavaco do tipo I. A diferença entre as forças médias e máximas é maior na formação do cavaco tipo I do que nos cavacos tipos II e III. Observa-se que a força normal é negativa. O sinal negativo neste caso indica que a ferramenta de corte tende a levantar ou puxar a peça de madeira.

Na obtenção do cavaco tipo I a ruptura ocorre por fendilhamento com uma formação cíclica do cavaco. A força é máxima no início do ciclo, quando a ferramenta entra em contato com a peça de madeira. Após essa etapa ocorre um fendilhamento e a força decresce até um valor mínimo. A partir daí o cavaco vai sendo arrastado, enrolando-se e exercendo uma força contra a face da ferramenta. A força começa, então, a aumentar até atingir um valor máximo novamente, completando-se, assim, o ciclo. Os valores das forças de corte principal (força paralela) são menores quando comparados aos valores de forças obtidos em cavacos dos tipos II e III.

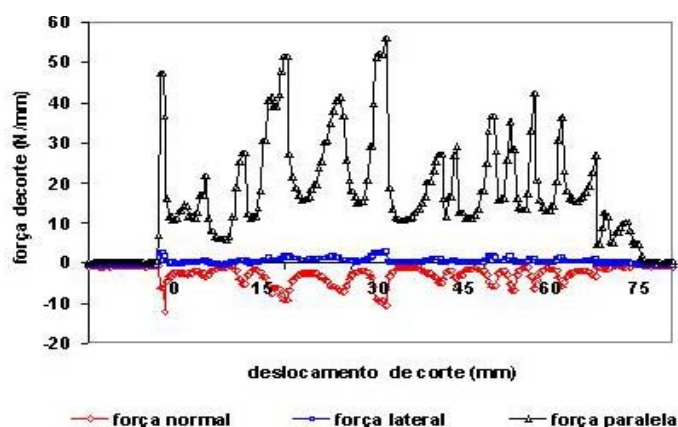


Figura 3.18. Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: Eucalipto Citriodora, espessura de corte: 1,52 mm e ângulo de saída : $\gamma = 30^{\circ}$. (NÉRI, 1998).

2) Cavaco do tipo II

O cavaco do tipo II é formado em condições que ocorre a ruptura por compressão paralela às fibras o que provoca tensões de cisalhamento no cavaco. O cavaco é contínuo em forma de espiral ou vai se enrolando a partir do ponto de contato entre o gume da ferramenta e a madeira. (Figura 3.19).

Na usinagem de madeiras, o cavaco tipo II é o tipo ideal que se deseja obter, tendo em vista que o mesmo coincide com um melhor grau de acabamento da superfície de corte.

Os fatores que favorecem a formação do cavaco tipo II são:

- a) pequenas espessuras de corte;
- b) teores de umidade intermediários;
- c) ângulos de saída variando de 5° a 20° .

A demanda de energia para o corte é intermediária, ou seja, está entre aquelas requeridas pelos cavacos dos tipos I e III.

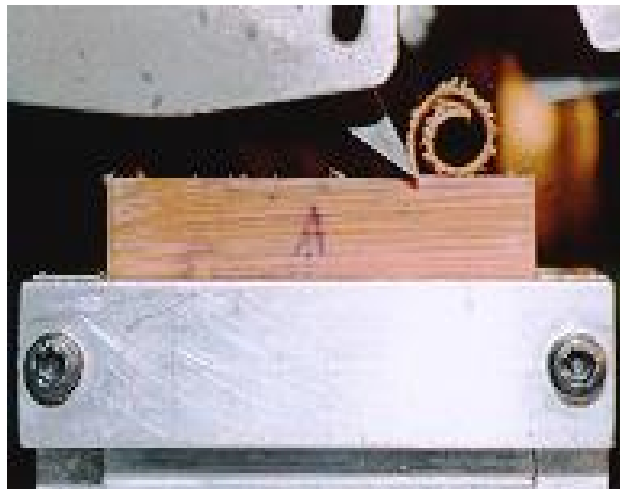


Figura 3.19. Cavaco tipo II obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: *Eucalypto grandis*, espessura de corte: 0,38 mm e ângulo de saída: $\gamma = 30^{\circ}$. (NÉRI, 1998)

A Figura 3.20 demonstra o comportamento das forças de corte paralela, normal e lateral. Este gráfico descreve a formação do cavaco do tipo II. A diferença entre as forças médias e máximas é menor na formação do cavaco tipo II do que no cavaco tipo I.

Observa-se neste gráfico que a força normal é positiva indicando que a ferramenta de corte tende a empurrar ou penetrar na peça de madeira. Na formação do cavaco tipo II a ruptura se dá por cisalhamento e o cavaco se forma de maneira contínua.

Superfícies de corte mais lisas e força normal com valores próximos de zero coincidem, também, com a formação deste tipo de cavaco.

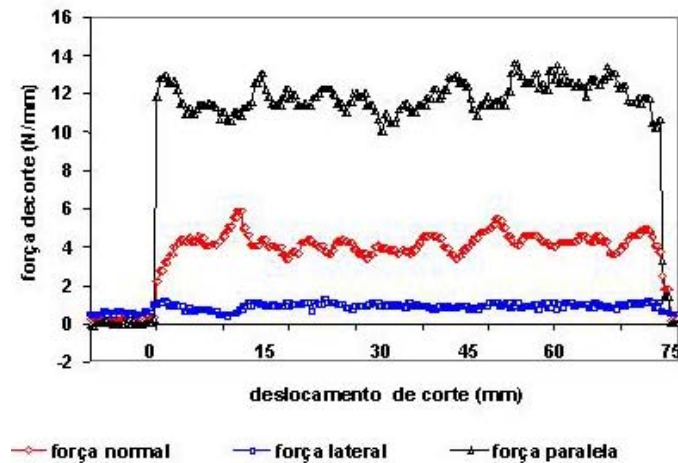


Figura 3.20. Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 0.38 mm e ângulo de saída : $\gamma = 20^\circ$. (NÉRI, 1998)

3) Cavaco do tipo III

O cavaco do tipo III

A ruptura ocorre também por compressão paralela às fibras e cisalhamento na direção de movimento da ferramenta e ainda abaixo do plano de corte o que deixa as fibras da madeira cortadas de maneira incompletas causando defeitos na superfície.

O cavaco é formado de maneira cíclica e é comprimido na face da ferramenta e tem dificuldade de se desprender. Tensões são transferidas às outras superfícies que por sua vez serão também compactadas iniciando outro ciclo. (Figura 3.21).

Os fatores que favorecem a formação do tipo III são:

- a) pequenos ângulos de saída (γ);
- b) fio de corte da ferramenta muito desgastado;
- c) coeficiente de atrito elevado entre o cavaco e a face do instrumento cortante.

Este tipo de cavaco provoca defeito na fibra, apresentando uma textura rugosa que se assemelha à pelúcia. Este tipo de defeito é produzido, porque a ruptura da madeira se dá abaixo do plano de corte e, igualmente, porque a ferramenta de corte deixa os elementos anatômicos da madeira cortados de maneira incompleta na superfície. A demanda de energia e o desgaste da ferramenta de corte são elevados.

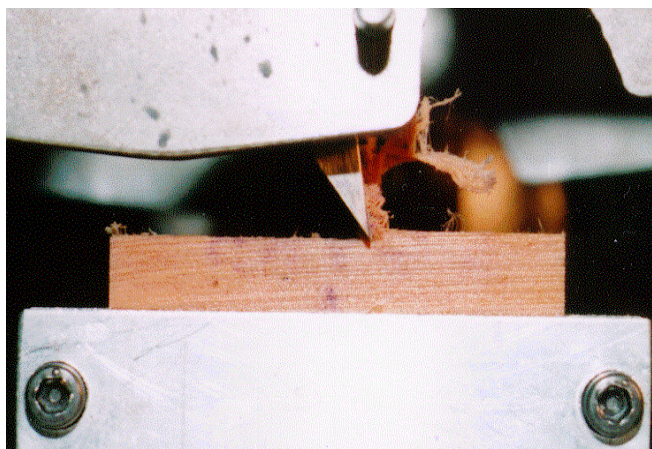


Figura 3.21. Cavaco tipo III obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0.
Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 1,52 mm
e ângulo de saída: $\gamma = 10^\circ$. (NÉRI, 1998).

A Figura 3.22 representa o comportamento das forças de corte paralela, normal e lateral. Este gráfico descreve a formação do cavaco do tipo III. A diferença entre as forças médias e máximas é também menor na formação do cavaco tipo III do que no cavaco tipo I. A força normal é negativa indicando que a ferramenta de corte tende a sair da peça da madeira. Na formação do cavaco tipo III a ruptura se dá por compressão paralela e o cavaco não tem uma forma definida. Os valores da força de corte paralela são elevados quando comparados aos cavacos dos tipos I e II, pois a madeira apresenta alta resistência à ruptura em compressão paralela.

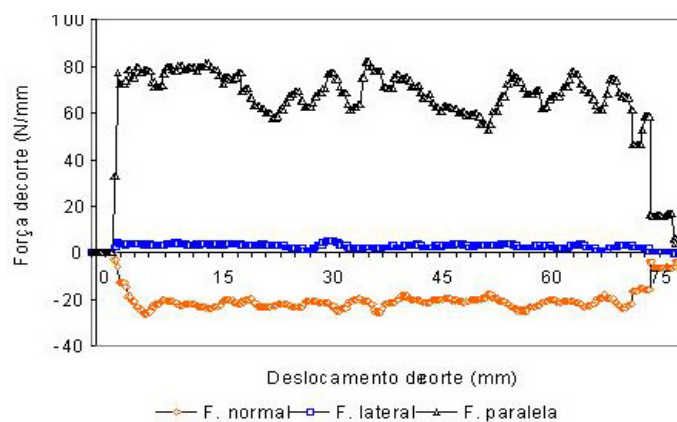


Figura 3.22. Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 1,52 mm e ângulo de saída : $\gamma = 10^\circ$. (NÉRI, 1998).

A Tabela 3.1 apresenta resultados de forças de corte 90-0 obtidos por NÉRI (1998), mediante a influência dos principais parâmetros de corte, para três espécies de eucalipto crescidas no Brasil.

Tabela 3.1. Valores da força de corte paralela – F_p (N/mm)* e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de saída (γ). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada. (NÉRI, 1998)

e (mm)	$\gamma = 10^\circ$							$\gamma = 20^\circ$							$\gamma = 30^\circ$						
	Eucalipto grandis																				
	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco
0,38	11,6	11,8	13,9	10,1	15,8	9,9	III	9,4	10,6	11,2	7,9	12,7	8,0	II e III	7,2	12,1	9,1	7,2	10,6	6,4	II
0,76	19,0	14,4	23,6	8,5	27,3	8,6	III	15,8	13,2	20,7	8,9	24,4	7,2	III	8,3	25,0	14,5	8,7	19,1	5,6	II
1,14	25,0	18,9	33,6	10,4	39,3	9,8	III	18,9	14,2	29,3	8,5	36,0	7,7	III	7,2	15,8	17,0	11,9	27,3	6,8	I
1,52	31,5	25,3	43,7	10,7	51,6	10,1	III	19,0	16,5	36,9	9,1	47,9	8,3	III (II)	7,3	19,8	17,5	13,4	34,4	6,9	I
Eucalipto saligna																					
e (mm)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco
0,38	17,0	15,2	19,8	18,2	22,3	19,7	III	13,3	23,7	15,7	13,5	17,6	11,1	II	9,9	11,9	12,7	6,8	14,6	5,9	II
0,76	27,4	13,8	34,9	14,0	40,4	15,2	III	20,3	16,2	29,4	8,9	34,2	8,7	II	9,3	19,0	19,8	8,9	27,2	7,8	I
1,14	34,5	11,9	51,0	9,5	61,3	11,2	III	20,3	22,1	40,0	11,1	51,7	9,9	+I e II	8,5	27,6	22,4	10,8	38,9	10,0	I
1,52	37,7	14,0	63,7	9,3	81,6	12,3	III	16,6	23,2	43,4	10,5	67,4	9,7	I	9,0	28,9	25,3	12,0	48,9	9,5	I
Eucalipto citriodora																					
e (mm)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco
0,38	20,8	11,0	25,0	9,2	28,7	8,0	III	16,5	17,5	21,0	8,4	24,9	7,5	II	8,9	30,9	16,3	9,8	21,8	8,4	II
0,76	37,1	20,2	46,8	11,0	54,0	9,6	III	26,4	29,7	39,1	12,2	46,7	8,8	II	9,8	47,2	24,7	20,0	38,0	9,1	I
1,14	48,3	19,4	66,4	10,4	77,6	9,2	III	33,0	37,4	53,0	15,4	66,6	9,1	I e II+	10,5	58,5	29,2	26,2	50,4	11,7	I
1,52	56,6	22,1	84,8	11,1	101,6	9,0	III	34,2	44,9	62,2	21,9	83,8	10,5	I (II)	10,6	57,4	31,8	34,5	61,5	13,6	I

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

ângulo de folga para os respectivos ângulos de saída $\alpha = 50^\circ$ ($\gamma = 10^\circ$) ; $\alpha = 40^\circ$ ($\gamma = 20^\circ$) ; $\alpha = 30^\circ$ ($\gamma = 30^\circ$)

ângulo de cunha da faca - $\beta = 30^\circ$

Velocidade de corte = 300 mm/min.

3.6.4 Corte Ortogonal 90-90

O corte 90-90 ou corte perpendicular às fibras, é um tipo de corte muito na indústria de processamento de madeiras, tanto no desdobro primário quanto no desdobro secundário.

As serras de fita, respigadeiras (máquinas que produzem as ligações por encaixe “macho-fêmea”) são exemplos de máquinas que trabalham com esse tipo de corte. O cavaco no corte 90-90 é composto de um cordão de pequenos fragmentos retangulares de madeira o qual se denomina de falha (HOADLEY, 1980).

O corte 90-90 exige maiores ângulos de saída da ferramenta, tendo em vista que ângulos pequenos deformam e flexionam drasticamente as fibras da madeira, deixando-as mal cortadas. Este procedimento minimiza os danos superficiais na peça usinada.

O corte longitudinal da serra de fita é um caso especial de corte 90-90. A serra de fita incorpora apenas parte da largura do elemento de corte, ou seja, a trava do dente, que é mais estreita que a peça de madeira a ser cortada. Desta maneira, além da formação do cavaco, o dente deve separar e cortar as faces laterais para passar livremente dentro da ranhura de corte. Para evitar o atrito da serra contra os lados do corte, seus dentes devem ter uma geometria especial na ponta, ou seja, a espessura da serra deve ser mais larga que a espessura da fita.

No caso das serras circulares, a condição de corte se aproxima ao tipo 90-90 quando a serra é utilizada em sua máxima altura, ou seja, quando a serra corta o mais próximo possível de sua parte central. No caso das folhosas, os cavacos para este tipo de corte são uniformes e superfícies melhor qualidade são obtidas com ângulos de saída elevados (30° a 40°), se a ferramenta de corte estiver bem afiada. Pequenos ângulos de saída associados à madeira seca produzem, normalmente, superfícies de baixa qualidade (WOODSON, 1979).

A Tabela 3.2 apresenta resultados de forças de corte 90-90 obtidos por NÉRI (1998), mediante a influência dos principais parâmetros de corte, para três espécies de eucalipto crescidas no Brasil.

Tabela 3.2 – Valores da força de corte paralela – F_p (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de saída (γ). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada. (NÉRI,1998)

e (mm)	$\gamma = 20^\circ$						$\gamma = 30^\circ$						$\gamma = 40^\circ$					
Eucalipto grandis																		
	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	17,5	11,9	20,1	9,2	22,7	9,8	15,6	13,6	18,0	8,7	20,1	8,3	13,5	14,5	15,9	7,8	18,0	7,1
0,76	32,3	10,5	36,5	10,1	40,7	11,1	26,7	11,7	30,6	11,1	34,4	10,3	21,9	13,2	25,5	9,7	29,1	9,3
1,14	45,9	14,7	51,8	13,4	57,9	13,4	37,9	13,2	43,6	10,6	49,7	10,2	30,5	12,5	35,7	10,1	41,5	8,9
1,52	62,0	16,1	71,0	12,1	79,6	11,3	49,7	13,7	58,4	10,4	66,5	8,9	40,0	14,7	46,5	12,9	53,8	11,1
Eucalipto saligna																		
e (mm)	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	22,9	26,5	26,9	25,6	31,5	26,0	18,5	11,3	21,8	9,8	25,8	8,6	15,3	13,6	18,4	10,8	22,0	11,6
0,76	46,5	23,4	53,5	22,3	61,8	22,5	36,0	14,4	42,3	13,0	49,6	12,7	24,7	9,3	29,7	7,4	35,3	8,2
1,14	72,3	17,2	82,7	16,3	95,0	17,3	55,1	10,5	64,7	11,0	75,0	11,3	42,6	12,9	50,4	11,6	58,9	11,4
1,52	99,1	15,0	112,1	15,3	127,0	16,1	67,5	12,1	78,9	12,4	91,3	12,0	54,8	10,5	66,8	11,2	78,2	11,0
Eucalipto citriodora																		
e (mm)	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	42,4	13,7	51,4	14,9	63,3	15,3	31,1	7,5	38,2	9,0	45,7	11,1	24,0	10,8	30,2	9,5	36,7	10,1
0,76	88,8	10,6	108,1	10,4	126,2	11,5	62,4	8,7	78,0	10,4	93,3	11,4	51,6	9,8	63,3	8,2	74,9	8,1
1,14	122,5	8,9	157,4	8,7	184,1	8,7	93,8	9,7	120,1	9,3	141,5	9,7	73,5	14,2	94,3	11,4	113,3	11,0
1,52	146,7	10,3	196,6	6,7	228,5	8,0	117,8	11,7	154,6	10,3	183,6	10,7	93,3	11,2	120,8	9,8	145,5	11,4

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

Ângulos de cunha do dente para os respectivos ângulos de saída $\beta = 63^\circ$ ($\gamma = 20^\circ$) ; $\beta = 53^\circ$ ($\gamma = 30^\circ$) ; $\beta = 43^\circ$ ($\gamma = 40^\circ$)

ângulo de folga - $\alpha = 7^\circ$ para todos os casos

Velocidade de corte = 300 mm/min.

3.6.5 Métodos estatísticos para comparação de médias

Segundo AQUINO apud SANTOS (1999), o teste de “t” verifica a hipótese de nulidade (H_0) de que a média (μ) de uma população com variância conhecida (σ^2) seja igual a um valor (μ_0) de uma amostra, ou a hipótese alternativa bilateral de que a média não seja igual a (μ_0), o qual é definida pela expressão:

$$H_0 : \mu = \mu_0 \quad \text{ou} \quad H_1 : \mu \neq \mu_0$$

Uma estatística adequada para basear se a decisão é a variável aleatória $\bar{x}$, sabendo-se que $\bar{x}$ é aproximadamente normal, com $\mu_{\bar{x}} = \mu_x$ e variância $\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma_x^2 / n$, onde μ e σ^2 são a média e a variância da população da qual foram selecionadas as amostras aleatórias de tamanho n . Através do nível de significância (α) é possível encontrar dois valores críticos $\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$, tais que o intervalo $\bar{x}_1 < \bar{x} < \bar{x}_2$ defina a região de aceitação e os dois extremos da distribuição, $\bar{x} < \bar{x}_1$ e $\bar{x} < \bar{x}_2$ definam a região crítica (Figura 3.23).

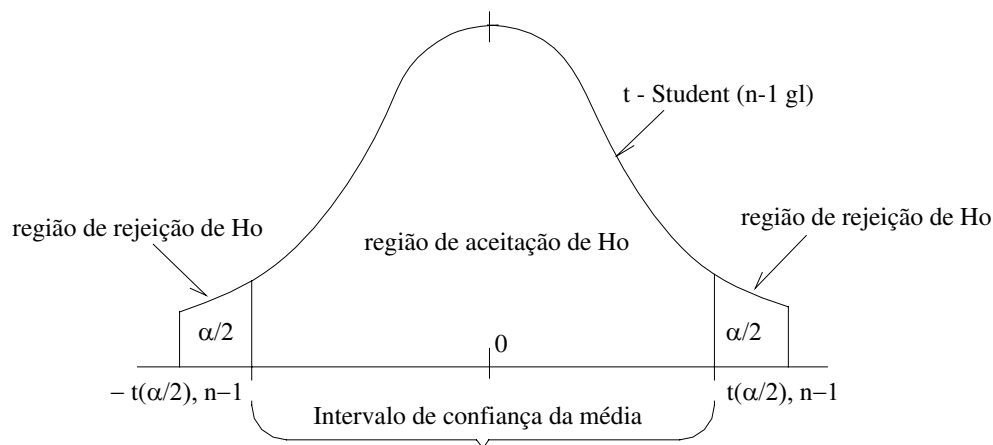


Figura 3.23. Distribuição normal (Teste de t)

A região crítica é dada em termos dos valores de “z” por meio de transformação:

$$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Conseqüentemente, para um nível de significância α , os valores críticos da variável aleatória z , correspondentes a $\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$ são:

$$-Z_{\alpha/2} = \frac{\bar{x}_1 - \mu_0}{\sigma / n^{1/2}} \quad \text{e} \quad -Z_{\alpha/2} = \frac{\bar{x}_2 - \mu_0}{\sigma / n^{1/2}}$$

Da amostra em estudo seleciona-se uma amostra aleatória de tamanho n e calcula-se a média amostral $\bar{x}$. Se a média amostral pertencer a região de aceitação $\bar{x}_1 < \bar{x} < \bar{x}_2$, então:

$$z = \frac{\bar{x}_2 - \mu_0}{\sigma / n^{1/2}}$$

situa-se na região $-Z_{\alpha/2} < z < Z_{\alpha/2}$ e conclui-se que $\mu = \mu_0$; de outra forma rejeita-se H_0 e aceita-se a hipótese alternativa H_1 de que $\mu \neq \mu_0$.

O teste descritivo equivale a obter um intervalo de confiança de $(1-\alpha)$ 100% para μ , aceitando H_0 e se μ_0 pertencer ao intervalo. Se μ_0 não pertencer ao intervalo rejeita-se H_0 em favor da hipótese alternativa H_1 . Conseqüentemente, quando se fizer inferência a respeito da média (μ) de uma população com variância (s^2) conhecida, quer seja pela construção de um intervalo de confiança ou através de um teste de hipótese, a mesma estatística do cálculo de “ z ” é utilizada.

Em geral, utiliza-se uma estatística para a construção do intervalo de confiança para um parâmetro θ , seja ela z , t , χ^2 ou F . A mesma estatística pode ser utilizada para testar a hipótese de que o parâmetro é igual a algum valor específico θ_0 , contra as alternativas de que $\theta < \theta_0$, $\theta > \theta_0$ ou $\theta \neq \theta_0$.

Os testes estatísticos de comparação de médias podem ser divididos em testes com amostras distintas, ou seja, onde as variáveis não estão associadas e em testes com variáveis emparelhadas onde se pode ter pares de variáveis com características semelhantes. Nestas condições, deve-se homogeneizar o máximo possível o material em estudo, de tal modo que o único fator variável seja o tratamento aplicado.

A seguir são apresentados alguns exemplos de testes estatísticos da hipótese H_0 de comparação de média.

Métodos estatísticos para variáveis distintas

- a) Igualdade de um parâmetro com a média de um conjunto

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

Teste estatístico:

$$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

- b) Igualdade entre duas médias com variâncias iguais e conhecidas

$$H_0 : \mu - \mu_0 = d_0$$

Teste estatístico:

$$z = \frac{(\bar{x}_1^2 - \bar{x}_2^2) - (\mu_1^2 - \mu_2^2)}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)}}$$

- c) Igualdade entre duas médias com variâncias iguais, porém desconhecidas.

$$H_0 : \mu - \mu_0 = d_0$$

Teste estatístico

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

- d) Igualdade entre duas médias com variâncias diferentes e desconhecidas

$$H_0 : \mu - \mu_0 = d_0$$

Teste estatístico:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \cdot \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

e) Observações emparelhadas

$$H_0 : \mu_D = d_0$$

Teste estatístico:

$$t = \frac{\bar{D} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

Métodos estatísticos para variáveis emparelhadas

a) Igualdade entre duas médias

Teste estatístico:

$$t = \frac{\bar{D}}{s(\bar{D})}$$

Análises estatísticas descritas por SANTOS (1999), sobre as forças de corte desenvolvidas nos tipos de corte 90-0 e 90-90, permitiram concluir que o comportamento específico da força de corte normal no corte 90-0 torna difícil a obtenção de modelos representativos desta força em função dos parâmetros de corte. As tentativas de ajuste destes modelos foram pouco significativas na maioria dos casos.

O mesmo autor mostrou que, para o corte 90-90 foi possível encontrar modelos significativos, principalmente no caso de regressões envolvendo força normal e densidade. Os modelos obtidos permitem visualizar a tendência do comportamento da correlação entre a força e a espessura, e a força e a densidade para diversos ângulos.

As relações obtidas no corte 90-0 não foram lineares para todos os casos, o mesmo ocorrendo no corte 90-90, principalmente nas relações entre força de corte e espessura.

Ainda para o corte na direção 90-90, as relações obtidas indicaram que, mesmo quando se obteve um único tipo de cavaco durante a usinagem da madeira de eucalipto, as relações não foram sempre lineares.

SANTOS (1999) conclui, ainda, que as forças paralelas obtidas em corte 90-0 e 90-90 não podem ser consideradas iguais nas direções tangencial e radial e que na direção radial estas forças são sempre maiores do que na direção tangencial.

3.6.6 Ângulo de saída ideal relativo

O ângulo ideal de saída da ferramenta de corte pode ser denominado de ângulo ideal relativo, pois na prática, é preciso considerar a influência da velocidade de avanço (V_f) o que resulta em um ângulo ideal efetivo de saída, e também a influência do ângulo livre (α), o que poderia levar à redução do ângulo de cunha (β), fragilizando a ferramenta de corte.

SANTOS (1999) analisou, ainda, diferentes métodos de cálculo de ângulo de saída ideal da ferramenta de corte, utilizando o zero de funções nos modelos adotados, utilizando o valor do coeficiente de atrito na expressão proposta por STEWART (1977) $\mu = \text{tg} [\arctg (F_n/F_p) + \gamma]$, utilizando o coeficiente de atrito pela expressão proposta por FRANZ (1958) $\mu = a + b (T/R)$ e utilizando a equação de determinação do coeficiente de atrito $\mu = 0,95 - 6,05 (T/R)$ proposta por STEWART (1977). Os resultados obtidos com os três primeiros métodos permitiram concluir que todos são válidos para o cálculo, considerando os intervalos de densidades, espessuras e ângulos de saída adotados no trabalho. O método utilizando a equação de determinação do coeficiente de atrito $\mu = 0,95 - 6,05 (T/R)$ proposta por STEWART (1977), para madeira na condição saturada levou, em todos os casos analisados, a resultados muito diferentes daqueles obtidos por intermédio dos outros três métodos, indicando que o mesmo não se mostrou adequado para a obtenção de valores de ângulos de saída ideal das espécies pesquisadas no trabalho.

3.7 Comparação entre as forças obtidas nos cortes ortogonal 90-0; 90-90

Os resultados obtidos no trabalho de NÉRI (1998) confirmaram a expectativa de que as forças de corte obtidas no corte ortogonal 90-90 são maiores do que aquelas obtidas no corte ortogonal 90-0. As tabelas 3.1 e 3.2 mostram que a diferença aumenta com o aumento da densidade da madeira. Para esta comparação foram utilizados os valores das forças de

corte obtidos para o ângulo de ataque de 20°, nas duas situações de corte. Para este caso, a força paralela obtida no corte 90-90 foi em média 81% maior do que aquela obtida no corte 90-0 para a espécie *grandis*, 104%, em média, maior para a espécie *saligna* e, em média 183% maior para a espécie *citriodora* na direção tangencial. Para a direção radial estas relações foram de 78% para a espécie *grandis*, 105% para a espécie *saligna* e, no caso da espécie *citriodora*, tomando por base a força máxima, a relação foi de 155%. A força máxima foi tomada por base para esta comparação, no caso do eucalipto *citriodora*, tendo em vista que o comportamento obtido no ensaio para as espessuras de corte 0,73 mm até 1,52 mm foi totalmente atípico, devido a problemas locais de desvio de fibras no corpo-de-prova.

3.8 Forças, pressão específica e potência de corte

De acordo com TIBURCIO (2000), a metodologia empregada por “KIENZLE” é de grande importância, pois permite, por meio da determinação de K_s , o cálculo dos esforços de corte e da potência de corte necessária em processos de usinagem da madeira para uma determinada taxa de remoção de cavaco. Na fórmula empregada por “KIENZLE”, K_s é função da espessura de corte (h). O aumento de K_s com a diminuição de h é uma propriedade geral, que vale para todas as operações de usinagem (DINIZ et al., 1999).

A figura 3.24 apresenta uma ilustração de representação gráfica do valor da pressão específica de corte (K_s) em função da espessura de corte (h).

Gráfico 1 - $K_s \times h$ - Grubixa seco ao ar
direção de corte paralela às fibras

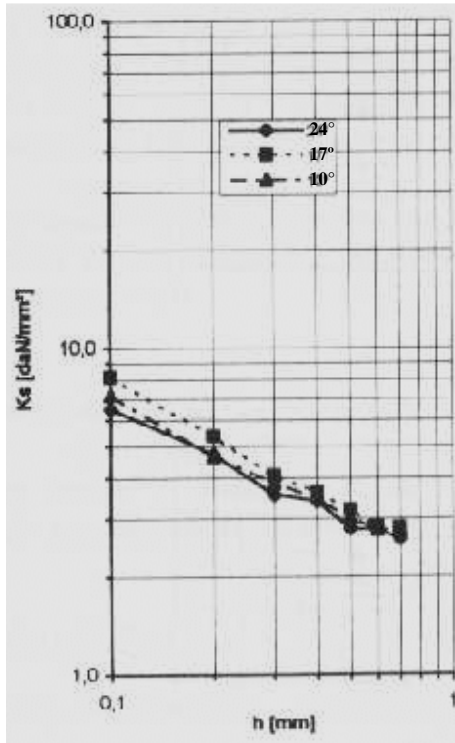


Gráfico 2 - $K_s \times h$ - Imbuia seco ao ar
direção de corte paralela às fibras

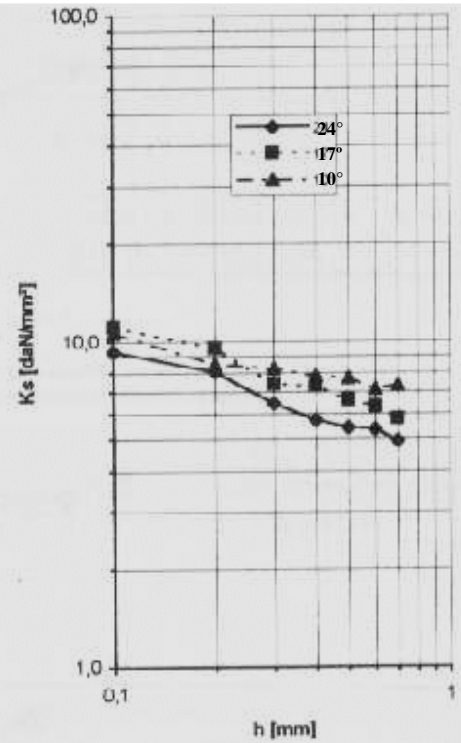


Figura 3.24. Variação da pressão específica de corte (K_s) em função da espessura de corte (h). (GONÇALVES e TAKAHASCHI, 1998)

A equação desta curva é dada por:

$$K_s = \frac{K_{s1}}{h^z} = K_{s1} * h^{-z} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

K_s = pressão específica de corte

K_{s1} = constante específica do material (Valor da pressão específica de corte K_s para uma seção de corte de 1mm^2).

z = constante do material

h = espessura de corte

A força de corte principal, ou seja, força paralela, pode ser expressa pela relação:

$$F_c = K_s * A = K_s * b * h \quad (\text{Eq.2})$$

A = área da seção transversal do cavaco (b x h); em que b= largura de corte ou comprimento da aresta de corte e h= espessura de corte.

A metodologia de “KIENZLE” emprega os valores de força principal de corte F_c em uma equação geral, para determinação da pressão específica de corte para uma seção transversal de 1mm^2 . Substituindo K_s na equação 2 da força principal de corte tem-se a equação:

$$F_c = K_{s1} * h^{-z} * b * h \quad (\text{Eq.3})$$

o que resulta na equação geral:

$$F_c = K_{s1} * b * h^{1-z} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde: 1-z = Coeficiente adimensional [--]

Na equação geral, o valor K_{s1} representa todos os parâmetros relativos ao material usinado. Para a madeira esse valor representa características e propriedades tais como: teor de umidade, densidade, direção de corte em relação às fibras etc, e 1-z representa os parâmetros relativos ao processo de usinagem tais como: condições de usinagem (V_c), geometria da ferramenta (γ) e grandezas de corte (h, b).

A potência de corte pode é dada pela relação:

$$P_c = F_c * V_c = K_s * b * h * V_c$$

onde: V_c = velocidade de corte

As tabelas 3.3 e 3.4 apresentam valores de K_{s1} e 1-z obtidos em corte ortogonal 90-0 por TIBURCIO (2000) e NÉRI (2002).

Tabela 3.3 . Valores de K_{s1} e 1-Z na direção de corte paralela para dez espécies de madeira (TIBURCIO, 2000).

Espécie	γ	K_{s1}	1-Z
PINUS ELLIOTTH	24°	3,94	0,71
	17°	5,08	0,78
	10°	5,33	0,75
CEDRO	24°	5,28	0,82
	17°	6,55	0,80
	10°	7,18	0,81
PINHO	24°	6,68	0,70
	17°	7,83	0,82
	10°	7,58	0,81
IMBUIA	24°	4,37	0,66
	17°	5,24	0,67
	10°	6,64	0,81
CASTANHEIRA	24°	5,46	0,83
	17°	6,46	0,77
	10°	8,59	0,79
EUCALÍPTO	24°	6,83	0,79
	17°	7,87	0,75
	10°	8,84	0,84
PEROBA	24°	7,35	0,69
	17°	10,24	0,74
	10°	11,78	0,80
MAÇARANDUBA	24°	7,06	0,69
	17°	8,86	0,66
	10°	11,44	0,71
ANGICO	24°	9,66	0,80
	17°	11,34	0,82
	10°	12,29	0,82
IPÊ	24°	6,18	0,68
	17°	7,17	0,64
	10°	8,50	0,72

Tabela 3.4. Valores de K_{s1} e 1-z obtidos para três espécies de eucalipto (NÉRI, 2002).

Corte 90-0 direção tangencial				Corte 90-0 direção radial			
E. grandis	$\gamma = 10^\circ$	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$	E. grandis	$\gamma = 10^\circ$	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$
K_{s1}	3,0379	2,5981	1,5317	K_{s1}	3,5106	2,8233	2,0705
1-Z	0,8233	0,8631	0,4887	1-Z	0,8793	0,8909	0,8457
R^2	0,9622	0,9857	0,9488	R^2	0,9973	0,9285	0,9421
E. saligna				E. saligna			
K_{s1}	4,4843	3,4117	2,1164	K_{s1}	4,7025	3,8424	1,6558
1-Z	0,8502	0,7586	0,4938	1-Z	0,9066	0,8418	0,0922
R^2	0,9740	0,8103	0,9765	R^2	0,9857	0,9132	0,9091
E. citriodora				E. citriodora			
K_{s1}	5,9020	4,6539	2,6912	K_{s1}	6,9365	3,3108	1,8221
1-Z	0,8820	0,7942	0,4894	1-Z	0,8440	0,3024	0,3785
R^2	0,9879	0,8993	0,9830	R^2	0,9940	0,9699	0,9934

3.9 Medidas de forças de corte

As forças de corte desenvolvidas durante a usinagem da madeira (Força paralela, normal e lateral) podem ser medidas por instrumentos denominados dinamômetros ou

célula de carga. Alguns tipos de dinamômetros permitem a leitura de duas das componentes envolvidas no corte, as forças paralela (F_p) e normal (F_n) (Figura 3.25). Outros permitem a medida das três componentes da força envolvidas no corte (Figura 3.26). Os dinamômetros geralmente são construídos em alumínio ou aço, e nestes são fixados os extensômetros em posições estratégicas. Os extensômetros neste caso são resistências elétricas, configurados em ponte de “Weadstone” e são alimentados por uma pequena tensão. Os extensômetros permitem a medida das forças de corte pela deformação da estrutura do dinamômetro que consequentemente deformará a resistência do extensômetro.

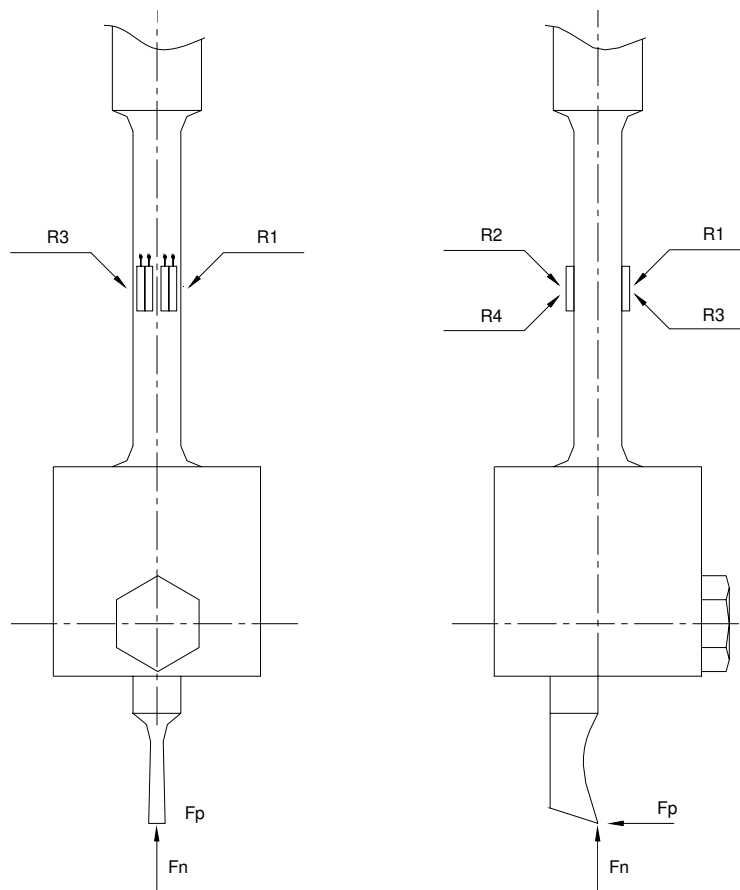


FIGURA 3.25. Dinamômetro resistivo para medição dos esforços de corte na usinagem da madeira, (GONÇALVES apud TIBURCIO, 2000).

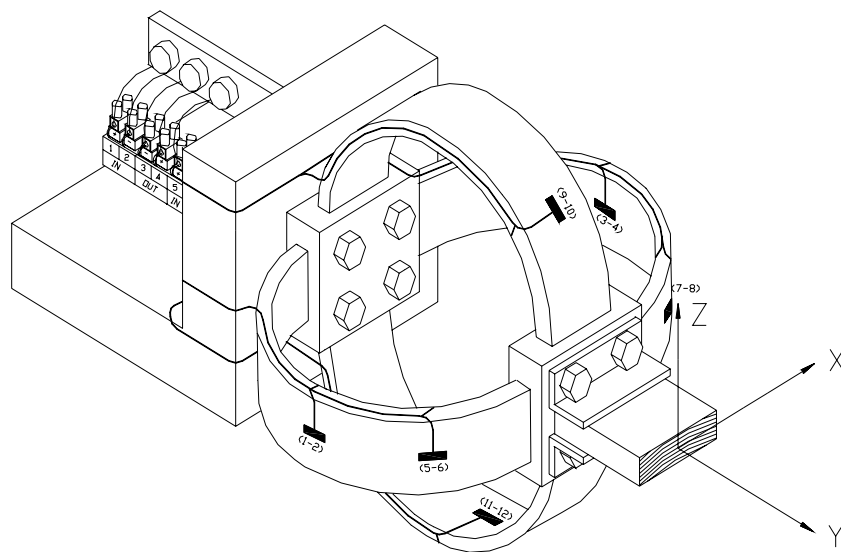


Figura 3.26. Esquema de dinamômetro de Anéis Ortogonais
(Adaptado de KING e FOSCHI, 1969)

3.10 Classes de resistência para coníferas e dicotiledôneas

As classes de resistência para a madeira estão indicadas na NBR 7190/97 e foram definidas a partir de estudos desenvolvidos por SALES (1996), o qual indicou técnicas de análises multivariada e métodos hierárquicos para a obtenção de grupos homogêneos para representar as classes de resistência para a madeira.

A especificação por meio das classes de resistência é feita a partir da determinação da resistência característica à compressão paralela às fibras f_{c0k} . A utilização dessa propriedade visa permitir que a resistência da madeira seja estimada por meio de apenas um ensaio destrutivo.

As classes de resistência da madeira, segundo a NBR 7190/97, têm o intuito de selecionar e homogeneizar lotes de madeira com características específicas visando o adequado aproveitamento do material para fins estruturais. Como a ruptura da madeira está diretamente relacionada à sua resistência, talvez se possa expressar, também, os esforços de corte associados às classes de resistência. Este procedimento visa avaliar a possibilidade de fornecer, ao setor de transformação de madeira, informações que permitam conhecer os esforços de corte de uma espécie a partir do enquadramento da mesma em uma determinada

classe de resistência, o que permitiria o conhecimento das propriedades de corte por meio da resistência característica do material.

As tabelas 3.5 e 3.6 apresentam as classes de resistências para as coníferas e dicotiledôneas (NBR 7190/97).

Tabela 3.5. Classes de resistência para coníferas

Classes	$F_{c0,k}$ (MPa)	$F_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{ap,m,12\%}$ (kg/m ³)
C ₂₀	20	4	3500	400	500
C ₂₅	25	5	8500	450	550
C ₃₀	30	6	14500	500	600

Tabela 3.6. Classes de resistência para dicotiledôneas

Classes	$F_{c0,k}$ (MPa)	$F_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{ap,m}$ (kg/m ³)
C ₂₀	20	4	9500	500	650
C ₃₀	30	5	14500	650	800
C ₄₀	40	6	19500	750	950
C ₆₀	60	8	24500	800	1000

4 . MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

- Madeira da espécie de *Pinus taeda*.
- Resultados de Forças de corte paralela e normal das espécies de eucalipto (Citriodora, Saligna e Grandis) obtidos por NÉRI (1998).
- Dinamômetro de anéis ortogonais.
- Máquina Operatriz (Fresadora Universal)
- Sistema de aquisição de dados “MGC Plus”.
- Facas e dentes adaptados ao cabeçote de corte da fresadora e aos diferentes ângulos de corte adotados na experimentação
- Fresa frontal

4.2 Metodologia

Um dos objetivos deste trabalho foi verificar para a espécie *Pinus taeda* a adequação da metodologia de confecção de corpos-de-prova e de realização de ensaios de medida das forças de corte, utilizados anteriormente para as espécies de eucalipto citriodora, saligna e grandis. Essa metodologia, desenvolvida e utilizada por NÉRI (1998), exigiu a utilização de dinamômetro capaz de medir as forças de corte (paralela, normal e lateral); acessórios de corte adaptados ao equipamento; corpos-de-prova de dimensões adequadas aos equipamentos disponíveis; utilização de sistema de aquisição de dados compatível com a magnitude do sinal gerado, bem como máquina operatriz adequada às condições de corte. Esses equipamentos e materiais foram construídos e/ou obtidos na Université de Laval, em Québec, Canadá, durante desenvolvimento de dissertação de Mestrado do referido autor. Sendo assim, para que houvesse a continuidade do trabalho, no

Brasil, houve a necessidade de construção e/ou obtenção de todos os equipamentos, acessórios e materiais mencionados.

a) Construção e calibração do dinamômetro

Para a medição das forças de corte na madeira de pinus, nas mesmas condições do realizado para a madeira de eucalipto, foi necessário a construção e calibração de um dinamômetro de anéis ortogonais (Figura 4.1), semelhante aquele utilizado por KING e FOSCHI (1969) e NÉRI (1998) conforme esquematizado na Figura 3.17.

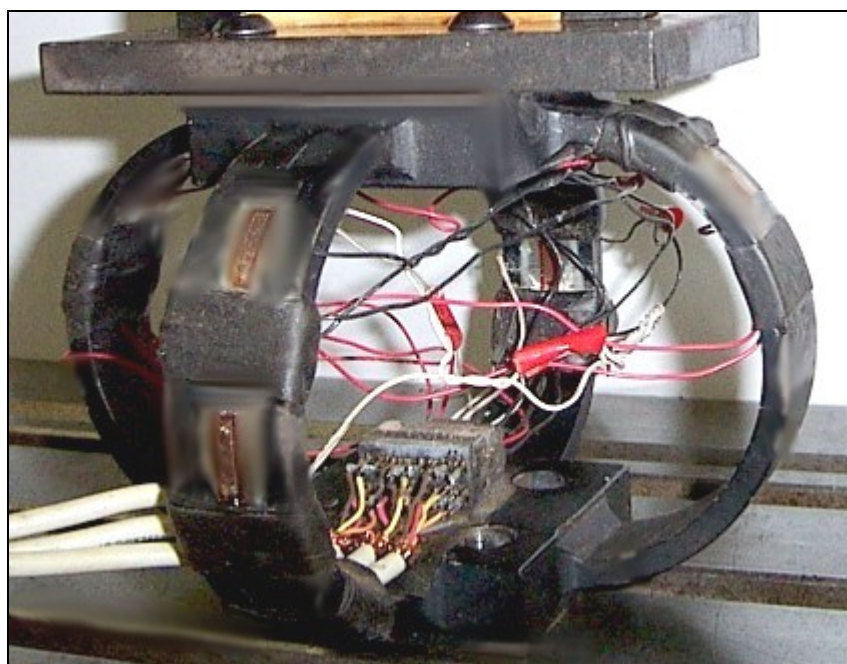


Figura 4.1. Dinamômetro de anéis ortogonais para medida de forças de corte ortogonal

Este dinamômetro permite a obtenção das três componentes de forças de corte na madeira (força paralela, normal e lateral), através da deformação de 12 extensômetros ligados em ponte completa e colados em posições estratégicas nos seus semi-anéis. A deformação dos extensômetros é decorrente da deformação dos semi-anéis do dinamômetro.

O sistema de aquisição de dados, acoplado ao dinamômetro, faz a leitura dos sinais de tensão de desequilíbrio das pontes e, através da equação de calibração do dinamômetro, transforma o sinal elétrico (Volt) em força (kgf).

Os objetivos da calibração do dinamômetro foram a determinação da equação de calibração, através da relação entre a carga aplicada e a tensão produzida pela deformação do dinamômetro, e a obtenção da direção de menor erro de leitura da força, a qual foi adotada para a medição da força principal de corte (força paralela).

O dinamômetro foi calibrado segundo a metodologia proposta por NÉRI (1998). Os resultados da calibração do dinamômetro com carga centrada, bem como da aferição com carga excêntrica, utilizados durante a execução dos ensaios estão sumarizados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1. Fatores de calibração com carga centrada

Direção	Coeficientes de regressão		Fatores de calibração
X	$R^2 = 1$	$cv = 0,013$	0,0454
Y	$R^2 = 1$	$cv = 0,014$	0,0390
Z	$R^2 = 1$	$cv = 0,006$	0,0372

A calibração com carga centrada e a aferição com carga excêntrica permitiram analisar a precisão de leitura e a influência da excentricidade nos resultados das forças de corte.

A curva de calibração expressa a relação de linearidade entre as variáveis carga e tensão. Sendo assim, os parâmetros da reta de calibração, coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de variação (cv), podem ser utilizados para a comparação da direção de maior precisão de leitura.

A influência da excentricidade na leitura pode ser medida através das diferenças obtidas na calibração com carga centrada e carga excêntrica, bem como na avaliação da significância das leituras em canais diferentes da direção de aplicação do carregamento, uma vez que, caso o dinamômetro esteja perfeitamente construído, as leituras em canais diferentes da direção de aplicação da carga deverão ser próximas de zero.

Com base nos resultados da calibração (tabelas e gráficos do anexo), verifica-se que os coeficientes de determinação obtidos para todas as direções foram próximos de 1, ou seja, as correlações foram estatisticamente significativas.

A calibração com carga centrada na direção Z apresentou um menor coeficiente de variação ($cv = 0,006\%$) da reta de calibração; no entanto, mostrou-se muito sensível a excentricidade, tanto na direção X quanto na direção Z.

Devido ao aspecto construtivo do dinamômetro, a leitura da força principal de corte na direção Y não pôde ser realizada, pois, nesse caso, o deslocamento da ferramenta de corte seria perpendicular ao dinamômetro. Sendo assim, a direção Y foi adotada para leitura da força de corte normal, a direção X para a leitura da força paralela e a direção Z para a leitura da força lateral.

b) Equipamento de Aquisição de Dados

Para a aquisição dos dados de forças de corte, foi utilizado o equipamento MGC Plus, Modelo HBM AB22A (Figura 4.2), com 14 canais de entrada e saída de aquisição de dados. Os sinais das forças de corte foram lidos em mv (milivolt) com sensibilidade de 0,001mv.

Os arquivos com os dados de forças de corte, arquivados com extensão “.mea”, foram convertidos em formato “.txt” pelo software CATMAM 2.1R2E e, com o auxílio da equação de calibração, os valores de forças de corte, obtidos em mv, foram transformados em kgf e, posteriormente, em N/mm.

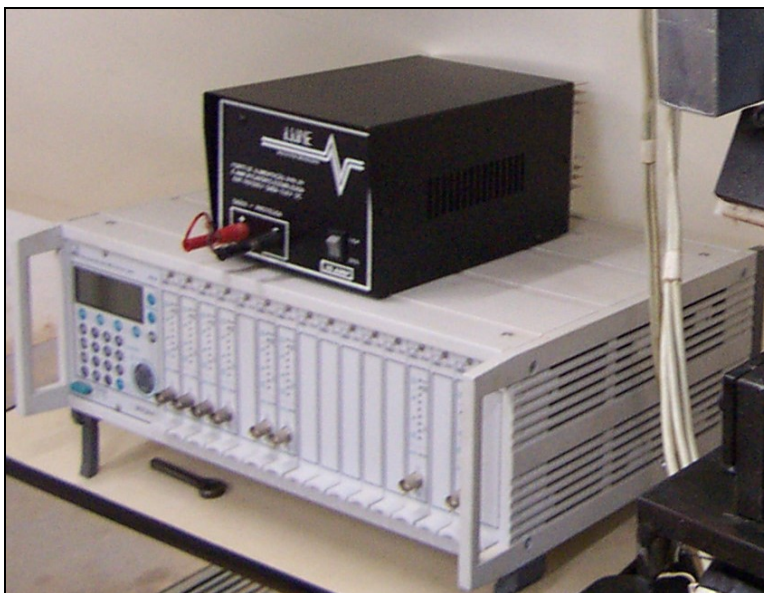


Figura 4.2. Equipamento de Aquisição de Dados MGC Plus

c) Máquina Operatriz

Para a realização dos ensaios foi adquirida uma fresadora Infresa, modelo FTV-2CA (Figura 4.3). Essa máquina, adquirida com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), foi instalada no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LEME), da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri/Unicamp). A fresadora foi adaptada para a realização dos ensaios de medida de forças de corte. Essa adaptação foi realizada por meio da instalação de suporte de ferramentas de corte e do instrumento de medição de forças de corte (dinamômetro).

A fresadora apresenta como principais características técnicas; motor de 3 CV, com rotação de 4.200 rpm, superfície da mesa de 1.220 mm x 229 mm com regulagens da velocidade de deslocamento horizontal na faixa de 0,3 a 0,5 m/minuto e deslocamento máximo da mesa de 830 mm na direção longitudinal e 406 mm nas direções transversal e vertical.



Figura 4.3. Fresadora Infresa instalada no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LEME).

d) Ferramentas e acessórios de corte

Para a realização dos ensaios de força de corte foi necessária a confecção de ferramentas especiais, bem como de todos os acessórios e dispositivos de fixação dessas ferramentas e dos corpos-de-prova na fresadora.

Ferramentas de corte

Foram confeccionadas ferramentas do tipo faca (Figura 4.4), utilizadas para o corte 90-0 longitudinal (corte paralelo às fibras da madeira) e a ferramenta do tipo dente ou bedame (Figura 4.5), para o de corte 90-90 transversal (corte perpendicular às fibras da madeira). O material utilizado para ambas ferramentas de corte foi aço rápido.

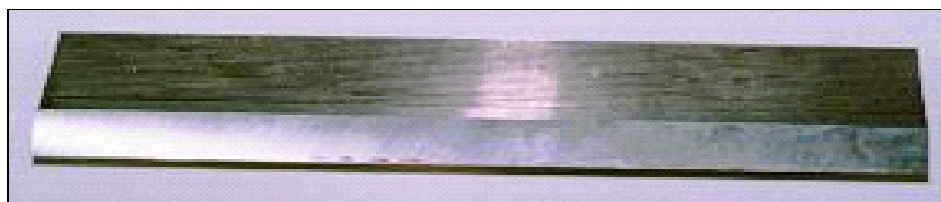


Figura 4.4. Ferramenta de corte do tipo faca

As dimensões da ferramenta do tipo faca foram 150 mm x 20 mm x 3 mm, sendo o ângulo de cunha da ferramenta $\beta=30^\circ$. Esta ferramenta foi fixada em um suporte, no cabeçote da fresadora, que permite variação de inclinação com ângulos de 10° , 20° e 30° . Esses ângulos foram previstos na metodologia de NÉRI (1998).

As dimensões dos dentes de corte foram 50 mm x 20 mm x 3 mm, com ângulos de saída de $\gamma = 20^\circ$, 30° e 40° (Figura 4.5).

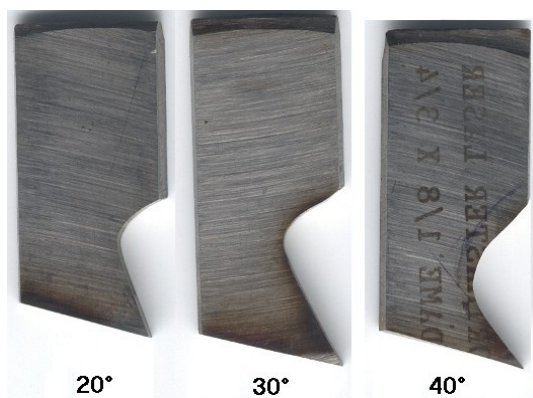


Figura 4.5. Dentes de corte utilizados no corte ortogonal 90-90

Suportes porta ferramentas

Para as ferramentas de corte dos tipos faca e bedame foram feitos dois suportes porta ferramentas. Os suportes da faca (Figura 4.6) e do dente (Figura 4.7), além da função

de fixação das ferramentas de corte, conferem ao conjunto a rigidez suficiente para o ensaio de corte.

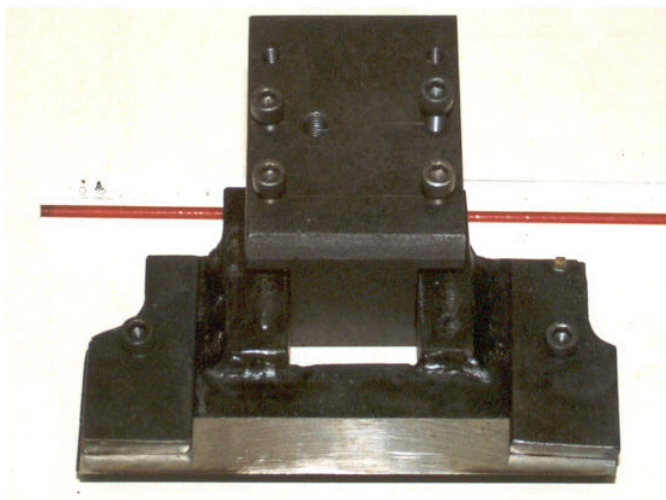


Figura 4.6. Suporte da ferramenta de corte do tipo faca

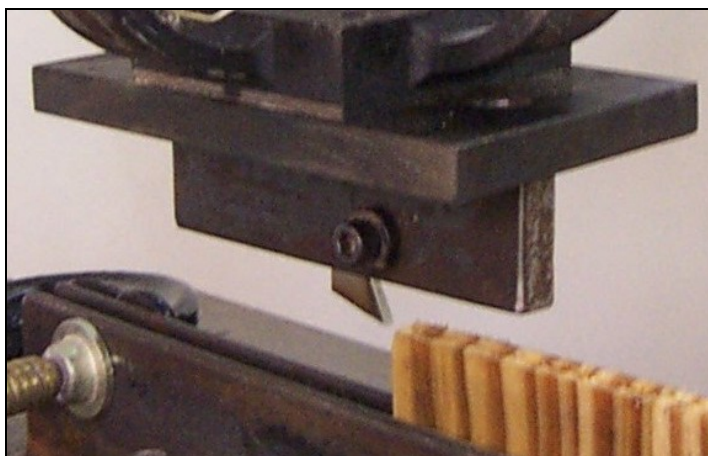


Figura 4.7. Suporte da ferramenta de corte do tipo dente (bedame)

Suporte para fixação do porta ferramentas (bloco)

O porta ferramentas foi fixado em um bloco (Figura 4.8), o qual foi fixado no cabeçote da fresadora e permite a regulação para o ajuste do ângulo de saída da faca de corte em 10^0 , 20^0 e 30^0 .

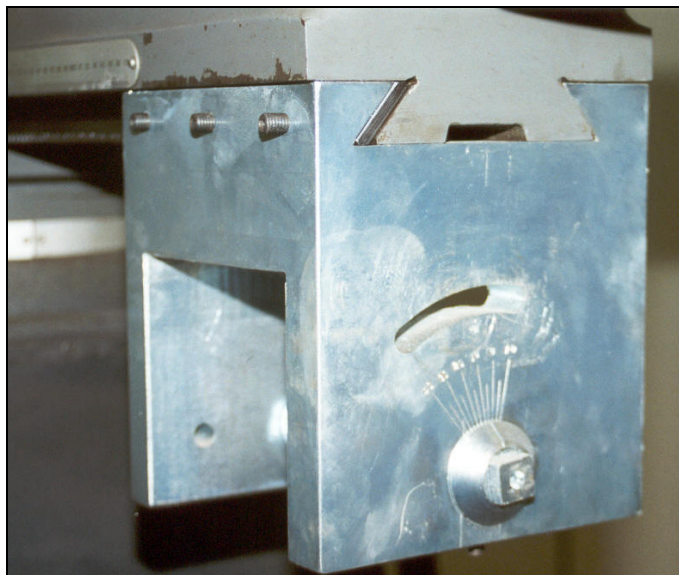


Figura 4.8. Suporte de fixação de porta-ferramenta (bloco)

Suporte de fixação de corpos-de-prova

Corte 90-0

Para fixação dos corpos-de-prova para os ensaios na condição 90-0, foi construído um suporte, o qual foi fixado no dinamômetro que, por sua vez, foi instalado nos trilhos da mesa horizontal da fresadora. O suporte possui uma abertura onde o corpo-de-prova é fixado (Figura 4.9).

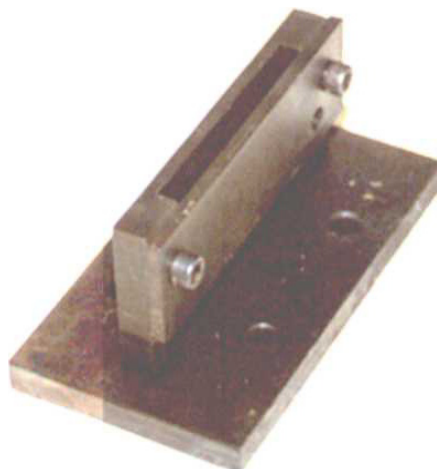


Figura 4.9. Suporte de fixação de corpos-de-prova 90-0

Corte 90-90

Tendo em vista que, na situação 90-90 é necessária a correção da superfície de corte após cada etapa, a realização dos ensaios nas mesmas condições utilizadas para o corte 90-0 demandaria muito tempo. Sendo assim, foram feitas alterações na metodologia proposta por NÉRI (1998), visando a otimização do tempo de realização do ensaio, sem perda na precisão dos resultados.

Na metodologia proposta por NÉRI (1998) para os ensaios na situação 90-90, os corpos-de-prova eram sempre fixados na base do dinamômetro, por um suporte que permitia a fixação de apenas um corpo-de-prova por vez. Com o intuito de automatizar a realização dos ensaios 90-90, confeccionou-se um suporte de fixação de corpo-de-prova do tipo cantoneira com barras de pressão. Esse suporte permitiu que fossem ensaiados 08 corpos-de-prova simultaneamente. Desta forma, o suporte foi fixado na mesa da fresadora, o dinamômetro no cabeçote da fresadora e a ferramenta de corte do tipo dente no dinamômetro (Figura 4.10).

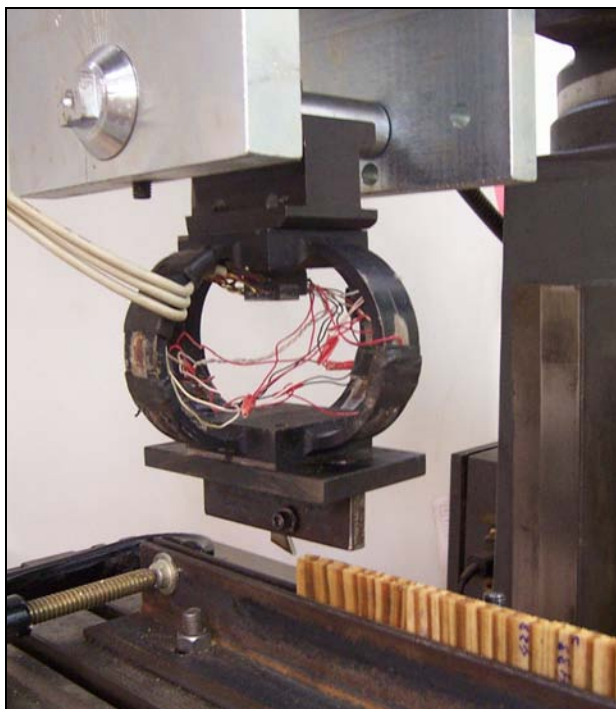


Figura 4.10. Suporte de fixação de corpos de prova 90-90 e conjunto (suporte do dente de corte, dinamômetro e bloco)

4.2.1 Seleção da espécie

Um dos objetivos específicos do trabalho foi pesquisar o comportamento das forças de corte na madeira juvenil e adulta. Sendo assim, foi escolhida a espécie de *Pinus taeda*, uma vez que a mesma é caracterizada por apresentar zonas de madeira juvenil. Além disso, essa espécie vem sendo amplamente utilizada em reflorestamentos pelas indústrias de papel e celulose, moveleira e de construção civil.

4.2.2. Obtenção e desdobro das toras

O desdobro primário da madeira é realizado com as toras ainda no estado verde (umidade acima do ponto de saturação). Esse desdobro visa a obtenção de madeira para fins estruturais, papel e celulose, bem como para a obtenção de madeira a ser seca para utilização posterior em desdobro secundário, utilizado principalmente na indústria moveleira.

Nesse trabalho a espécie de *Pinus taeda* foi ensaiada na condição saturada, visando a obtenção de parâmetros utilizados no desdobro primário.

A madeira utilizada neste trabalho foi obtida de árvores de *Pinus taeda* L., provenientes de plantios de 37 anos de idade, localizados no Horto Florestal de Manduri, S.P. (latitude 23° 00' sul, longitude 40° 19' oeste e altitude de 700 m).

De um talhão de 1,6 ha, plantado com espaçamento inicial de 1,50 m x 1,50 m, e no qual se havia realizado 5 desbastes até o corte, foram selecionadas, aleatoriamente, 06 árvores. A altura comercial e o diâmetro (DAP) médio avaliados foram de 18,2 m e 40,4 cm, respectivamente.

As 06 árvores, as quais se encontravam na condição seca, foram divididas em quatro toretes de 2,20 m de comprimento a partir da base. Da extremidade superior de cada torete foram retiradas 24 peças de 40 cm de altura, como se pode visualizar na Figura 4.11. Essas peças, das quais foram retirados os corpos-de-prova para os ensaios, foram cedidas pela Faculdade de Ciências Agrônômicas/Engenharia Rural da UNESP, por intermédio dos Profs. Drs. Adriano Wagner Ballarin e Hernando A. Lara Palma.

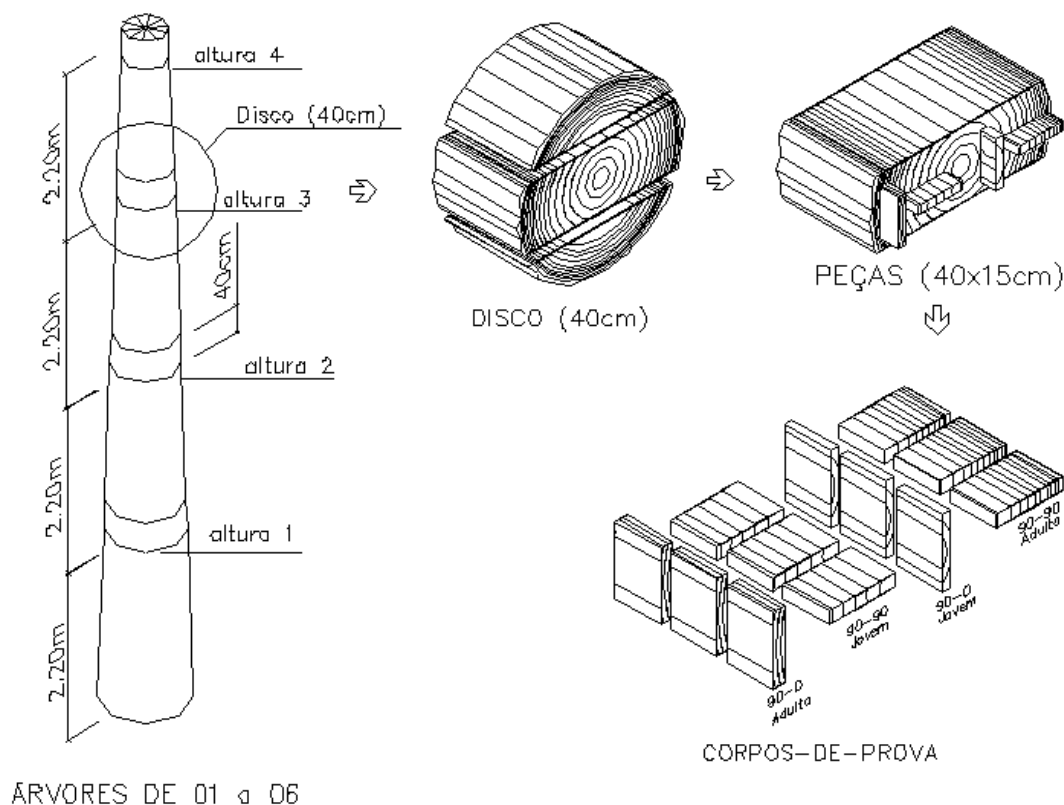


Figura 4.11. Esquema de retirada dos corpos-de-prova

Todas as peças de 40 cm foram codificadas com numeração de dois dígitos. O primeiro indicando a árvore da qual a peça foi retirada (1 a 6) e o segundo indicando a posição (altura) da peça nos quatro toretes retirados a partir da base da árvore. As peças foram, então, colocadas em um recipiente com água para serem saturadas, por um período de 15 dias, atingindo um teor de umidade médio de 75%.

4.2.3. Demarcação da madeira juvenil e adulta.

A demarcação da madeira juvenil e adulta foi realizada nos toretes, das 6 toras, não utilizados para confecção dos corpos-de-prova (PALMA e BALLARIN, 2002). Para essa demarcação, de cada árvore foi retirado um disco, à altura do peito, do qual foi obtido material macerado para determinar o comprimento dos traqueídes axiais (método microscópico). Para o estudo anatômico foram seguidas as recomendações do método modificado de FRANKLIN apud TAYLOR (1975) e da norma ABNT-IAWA (1994).

Os resultados demonstraram que a região de madeira juvenil destas árvores ocorreu aproximadamente até o 18º anel de crescimento, sendo mais representativa até o 14º anel. A região de transição ocorreu entre o 14º e o 18º anel de crescimento das árvores.

A Figura 4.12 mostra a demarcação da madeira juvenil, madeira de transição, madeira adulta e, também, a posição de retirada dos corpos-de-prova dentro de cada uma destas zonas.

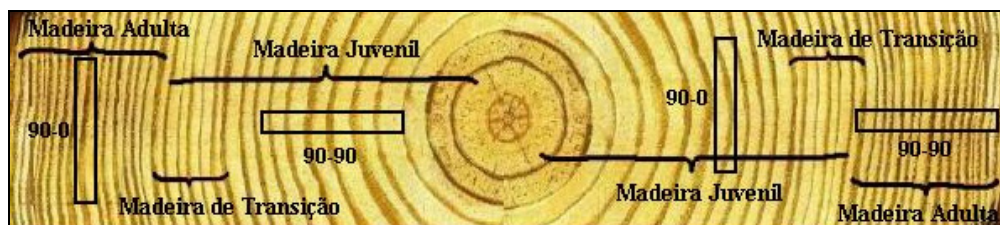


Figura 4.12. Demarcação da madeira juvenil, de transição, adulta e localização de retirada dos corpos-de-prova

4.2.4. Confeção e seleção dos corpos-de-prova

As 24 peças foram desdobradas em pranchetas, mantendo-se o teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras. De cada peça retirou-se quatro pranchetas de dimensões 40 cm x 8 cm x 0,7 cm para o corte 90-0 e 40 cm x 8 cm x 1 cm para o corte 90-90, observando-se sempre, nessa retirada, a inclinação dos anéis de crescimento, o alinhamento das fibras e a região de madeira juvenil e adulta (Figura 4.12).

Cada prancheta foi codificada com quatro algarismos. Os dois primeiros com a mesma significação das peças e os dois últimos indicando se tratar de madeira adulta ou juvenil e o tipo de corte 90-0 ou 90-90, respectivamente. Todas as pranchetas foram aparelhadas na largura e na espessura final do corpo-de-prova e, finalmente, seccionadas em vários corpos-de-prova de dimensões 7,5 cm x 7,5 cm x 0,6 cm para o corte 90-0 e 7,5 cm x 7,5 cm x 0,9 cm para o corte 90-90. Essas dimensões foram adotadas após estudo preliminar da magnitude das forças de corte geradas durante o ensaio, uma vez que a maior força de corte deveria ser compatível com a capacidade de carga do dinamômetro.

Dentre os corpos-de-prova retirados da mesma prancheta, em cada posição ao longo do tronco, foram selecionados, de maneira pareada, dois corpos-de-prova, um para a medição das forças de corte e outro para a determinação da densidade básica e do teor de

umidade. A seleção foi feita levando-se em conta a inclinação dos anéis de crescimento, o alinhamento das fibras, a existência de defeitos de aplainamento e nós, as dimensões finais, o esquadreamento e outras irregularidades.

Os corpos-de-prova foram, então, ordenados numerados, embalados em sacos plásticos e colocados no refrigerador a uma temperatura acima do ponto de congelamento da água (2° C) para que a umidade fosse mantida acima do ponto de saturação das fibras e sendo retirados somente no instante do ensaio. A Figura 4.13 apresenta um esquema dos corpos-de-prova com as dimensões e orientação.

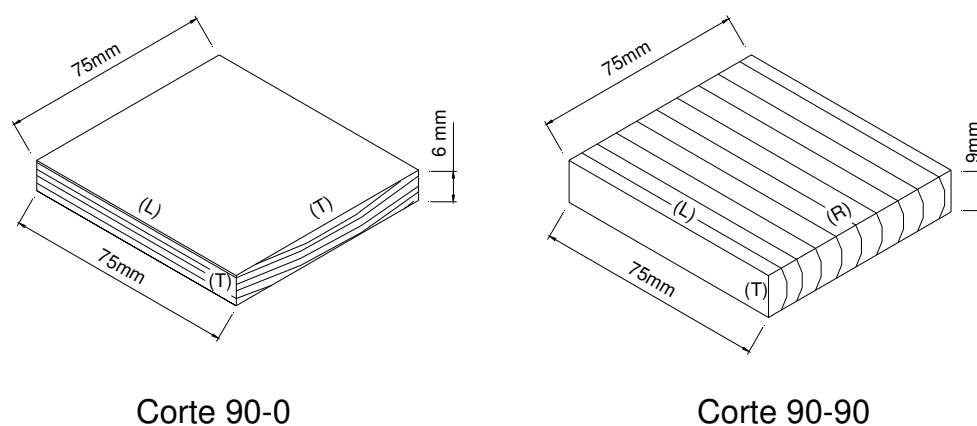


Figura 4.13. Dimensões e orientação dos corpos-de-prova segundo cada direção e tipo de corte.

4.2.5 Ensaio preliminares

Ensaio preliminares de medida das forças de corte foram realizados em alguns corpos-de-prova nas situações 90-0 e 90-90, com o objetivo de verificar possíveis discrepâncias no emprego da metodologia utilizada por NERI (1998). Os resultados demonstraram que a metodologia utilizada por NERI (1998) era adequada para ser utilizada, também, para a espécie de *Pinus taeda*.

Os resultados dos ensaios preliminares foram utilizados para estimar, estatisticamente, o número mínimo de repetições a serem utilizadas nos ensaios principais, ou seja, o número mínimo de repetições que garantisse que os resultados pudessem ser considerados estatisticamente representativos. Esse cálculo foi realizado por meio da equação:

$$r = \frac{q^2 s^2 F}{d^2}$$

onde:

r = número de repetições necessárias para o experimento;

q = amplitude total, “studentizada”, do experimento;

s^2 = desvio padrão;

F = valor tabelado, ao nível de significância de $\alpha=5\%$;

d = diferença mínima significativa a ser comprovada pelo ensaio.

Para a aplicação da equação de cálculo do número necessário de repetições, calculou-se previamente com os resultados dos ensaios preliminares, o desvio padrão s^2 , com n_2 graus de liberdade e o coeficiente de variação da média (cv).

A diferença mínima significativa (d) a ser comprovada pelo ensaio foi calculada pela equação $d=q.cv/\sqrt{r}$ onde, o valor q (amplitude total studentizada) é encontrado na tabela do teste de Tukey ao nível de $\alpha=5\%$ de probabilidade com os valores de n (número de tratamentos) e n' (número de graus de liberdade do resíduo) e o valor r é um número de repetições qualquer que se quer testar. O valor de “F” é encontrado na tabela ao nível de $\alpha=5\%$ em função de n_2 (graus de liberdade do tratamento do ensaio preliminar) e n_1 (graus de liberdade do tratamento do ensaio principal).

4.2.6 Ensaios principais

Medida de forças de corte

Os ensaios de medida de força de corte ortogonal, com a madeira de *Pinus taeda*, foram realizados nas direções 90-0 (corte paralelo) e 90-90 (corte perpendicular), para madeira juvenil e adulta, com um total de 96 corpos-de-prova, totalizando 5760 ensaios. Em ambos cortes, foram empregadas 05 espessuras de corte (0,2 mm; 0,4 mm; 0,6 mm; 0,8 mm e 1,0 mm) e quatro repetições (item 4.2.5). O corte foi realizado somente na direção radial, tendo em vista os resultados de SANTOS (1999), os quais indicaram ser esta a direção na qual se apresentam as maiores forças de corte. Os ângulos de saída das ferramentas foram: 10°, 20° e 30°, para o corte 90-0, e 20°, 30° e 40°, para o corte 90-90. A

velocidade de corte empregada foi de 0,32 m/min, sendo efetuada uma passada de corte por cada espessura, visando a obtenção do valor médio da força de corte. No corte 90-90, as regiões irregulares dos corpos-de-prova foram corrigidas utilizando-se uma fresa frontal de perfil (Figura 4.14), acoplada ao cabeçote giratório da fresadora (Máquina operatriz). Essas irregularidades ocorrem somente no corte 90-90, ao final de cada passada da ferramenta de corte.



Figura 4.14. Fresa frontal de perfil utilizada para corrigir a superfície irregular dos corpos-de-prova no corte 90-90

Durante o ensaio, utilizando-se o sistema de aquisição de dados, as forças foram simultaneamente registradas nas três direções principais, denominadas paralela, normal e lateral. A taxa de aquisição foi fixada em 100 pontos/s.

Tendo em vista que no corte 90-0, o desgaste do gume da ferramenta de corte pudesse vir a afetar o módulo das forças de corte, variou-se durante uma série de ensaios pré-estabelecidos, a posição do corpo-de-prova ao longo do comprimento do fio da faca, com o intuito de minimizar o desgaste do fio de corte não tendo assim, interferência significativa nos valores das forças de corte. Para isso, a faca com a extensão de 150mm, foi dividida em 15 regiões de 10 mm, permitindo, que para cada faixa adotada fossem realizados 192 ensaios.

4.2.7 Análise estatística

As análises estatísticas foram feitas mediante hipóteses estabelecidas no delineamento da pesquisa:

Hipótese 1: Não há diferença estatística entre as forças de corte médias obtidas em cada árvore de *Pinus taeda* estudada.

Hipótese 2: As forças de corte médias, na madeira de *Pinus taeda*, são estatisticamente diferentes quando se tomam amostras da base, do meio e do topo, para as seis árvores estudadas.

Hipótese 3: Existe diferença estatística entre as forças de corte médias para a madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*, para as seis árvores estudadas.

Hipótese 4: As forças de corte médias para as madeiras juvenil e adulta de *Pinus taeda* variam em função do tipo de corte, do ângulo de saída e da espessura de corte, para as árvores estudadas.

Hipótese 5: Existe diferença estatística entre a densidade média da madeira juvenil e adulta, para as seis árvores estudadas.

A verificação das hipóteses mencionadas requer a aplicação de testes estatísticos apropriados para o tipo de amostragem e o tipo de resposta que se pretende avaliar.

As variáveis relacionadas às forças de corte em análise apresentam-se como variáveis emparelhadas, ou seja, existe entre elas um grau de associação e características semelhantes. O teste estatístico apropriado para a comparação destas médias é o teste de “t” de igualdade entre médias para variáveis emparelhadas.

Para a análise estatística dos resultados das forças de corte deste trabalho de pesquisa, foi utilizado o software SPSS EDITOR DATA, o qual permite elaborar, com um conjunto de dados, as seguintes análises:

1. Análise exploratória por intermédio dos gráficos Box Plot, Scatter Plotter, Histogramas, etc.
2. Análise estatística por meio de análise multivariada, estatística descritiva, comparação de médias, correlação, regressão, testes não paramétricos, etc.

Com os resultados de forças de corte paralela e normal, foi realizada, previamente, uma análise exploratória visual dos dados, através de gráficos “Box Plot”. O objetivo desta

análise foi o de verificar, para as seis árvores estudadas, o comportamento visual das forças de corte entre as seis árvores, em cada posição pré-estabelecida ao longo do tronco e entre as regiões de madeira juvenil e adulta. Em seguida, por meio de análise multivariada, aplicou-se o teste de “t” para comparação de médias distintas com variáveis emparelhadas e nível de significância $\alpha=5\%$.

O software compara duas médias distintas utilizando o teste de “t” com os seguintes critérios:

1) Se o valor de significância (sig. 2-tailed) for menor que $\alpha=0,05$ e intervalo de confiança para a diferença entre as médias não contém o valor zero, isto indica que há diferença significativa entre os dois grupos de médias, ou seja, rejeita-se a hipótese H_0 , de que as médias são iguais.

2) Se o valor de significância (sig. 2-tailed) for maior que $\alpha=0,05$ e o intervalo de confiança para a diferença entre as médias contém o valor zero, não se pode concluir que exista diferença significativa entre os dois grupos de médias.

Entre as seis árvores foram comparadas as médias das forças de corte extremas, sendo que, se ficasse comprovado que estas duas médias eram estatisticamente iguais, não haveria necessidade do teste de comparação com as forças médias das outras árvores, ou seja, a hipótese 1 seria verdadeira. Caso contrário, a hipótese 1 seria falsa havendo necessidade de comparação com as médias de forças de corte das outras árvores.

Nas diferentes posições ou alturas do tronco foram comparadas as médias das forças de corte da posição 1 e 4 (Figura 4.10), sendo que, se fosse comprovado que estas duas médias eram estatisticamente iguais, não haveria necessidade do teste de comparação com as médias das forças nas posições intermediárias, ou seja, a hipótese 2 não seria verdadeira; caso contrário, a hipótese 2 seria verdadeira, necessitando efetuar-se a comparação de médias entre as demais posições.

Foram feitas, também, comparações de médias de forças de corte e densidade para a madeira juvenil e adulta, visando a verificação das hipóteses 3 e 5.

Para a verificação da hipótese 4, foram aplicados testes de comparação das forças de corte médias para madeira juvenil e adulta nas seis árvores estudadas, em cada tipo de corte, ângulo de saída e espessura de corte.

4.2.8 Relações entre as forças de corte e os parâmetros de corte

Para se avaliar a relação entre as forças de corte paralela e normal (madeira juvenil e adulta) em função da espessura de corte e do ângulo de saída, foram elaborados gráficos representativos para cada condição estudada.

4.2.9 Determinação do ângulo de saída ideal relativo

Para o corte ortogonal 90-0 foram determinados os ângulos de saída ideal relativo da ferramenta de corte, através do coeficiente de atrito (μ) obtido pela expressão $\mu = \text{tg}(\arctg(F_n/F_p) + \alpha)$, proposta por STEWART (1977). O ângulo de saída ideal relativo está associado à força de corte normal próxima de zero e à formação do cavaco do tipo II, o qual coincide com a melhor qualidade da superfície de corte gerada, sendo este um importante parâmetro prático da qualidade de corte da madeira.

4.2.10 Determinação da pressão específica de corte

Com os valores das forças de corte paralela média, aplicou-se o método “KIENZLE” descrito na revisão bibliográfica, e foram calculados os valores da pressão específica de corte.

Por meio de uma regressão bi-logarítmica dos valores de K_s e h (espessura de corte) foram tabelados os parâmetros: pressão específica de corte (K_{s1}) para uma seção não deformada do cavaco, de 1mm^2 e coeficiente adimensional $1-z$, o qual representa o parâmetro relativo às condições de corte, ou seja, a geometria da ferramenta e as grandezas de corte (espessura e largura de corte).

5 . RESULTADOS

5.1 Forças de corte

Os resultados de medidas das forças de corte para a madeira de pinus foram sumarizados em tabelas, segundo cada condição de corte estabelecida.

As tabelas de a1 a a8 do anexo I apresentam os valores de forças de corte paralela e normal (mínima, média e máxima) para os cortes 90-0 e 90-90, na direção radial, para madeira adulta e juvenil ao longo do tronco em 04 diferentes alturas para as seis árvores de *Pinus taeda* estudadas.

Cada valor de força representa a média de quatro repetições, ou seja, quatro passadas de corte por corpo-de-prova em cada condição de corte.

Para o corte 90-0 o tipo de cavaco predominante foi o do tipo II, com existência esporádica de cavacos dos tipos I e III.

5.2 Análise estatística

Análise exploratória dos dados

Hipótese 1: Não há diferença estatística entre as forças de corte médias obtidas em cada árvore de *Pinus taeda* estudada.

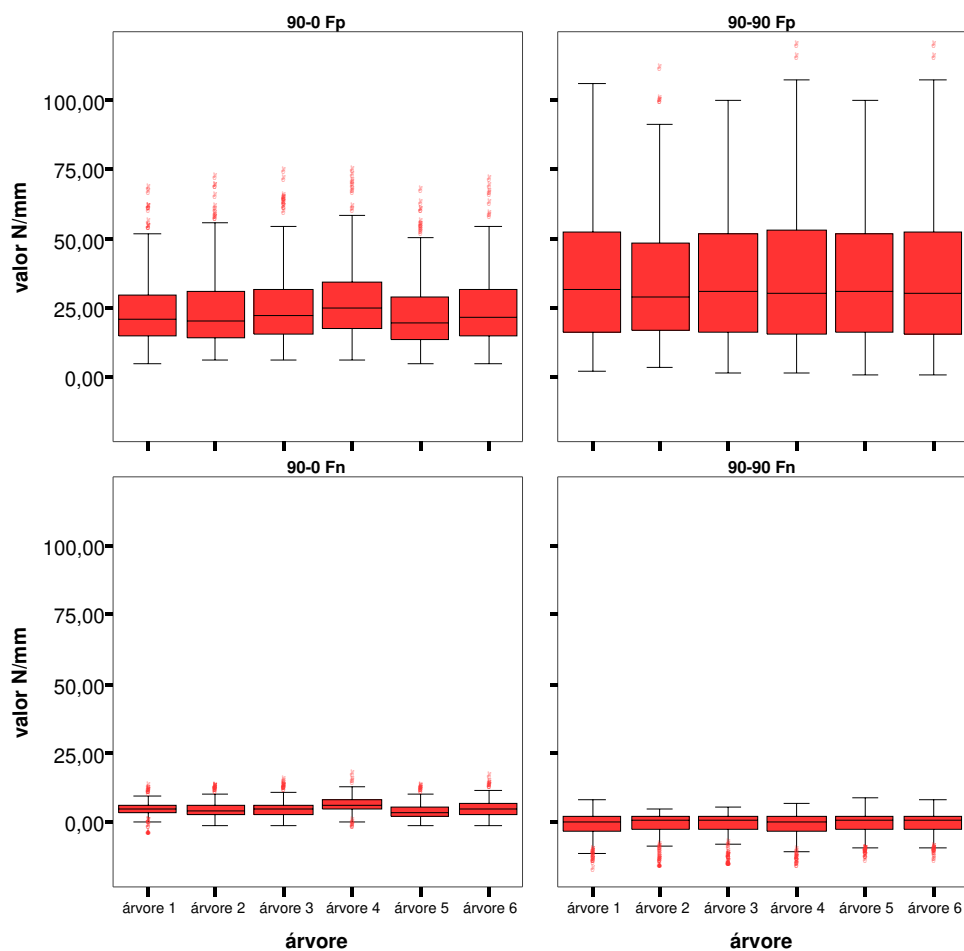


Figura 5.1 . Gráfico “Box Plot” das médias das forças paralela e normal para todas as árvores de *Pinus taeda*.

Tabela 5.1. Médias das Forças de corte paralela e normal(N/mm) nos tipos de corte 90-0 e 90-90 para as 06 árvores

corte	força	árvore	Mean	N	Std. Deviation
90-0	Fp	árvore 1	23,55	360	11,71
		árvore 2	24,27	360	12,87
		árvore 3	25,31	360	12,75
		árvore 4	27,41	360	12,97
		árvore 5	22,71	360	11,55
		árvore 6	24,51	360	12,28
		Total	24,63	2160	12,44
	Fn	árvore 1	4,94	360	2,12
		árvore 2	4,84	360	2,46
		árvore 3	5,04	360	2,50
		árvore 4	6,50	360	2,77
		árvore 5	4,33	360	2,37
		árvore 6	5,17	360	2,81
		Total	5,14	2160	2,60
90-90	Fp	árvore 1	36,29	360	24,14
		árvore 2	34,12	360	22,38
		árvore 3	34,94	360	23,17
		árvore 4	36,44	360	25,68
		árvore 5	34,59	360	23,18
		árvore 6	36,09	360	25,68
		Total	35,41	2160	24,06
	Fn	árvore 1	-0,41	360	4,51
		árvore 2	-0,24	360	4,06
		árvore 3	-0,42	360	4,19
		árvore 4	-0,58	360	4,45
		árvore 5	-0,04	360	4,12
		árvore 6	0,19	360	4,00
		Total	-0,25	2160	4,23

Tabela 5.2. Comparação entre as médias de forças de corte (N/mm)extremas (árvores 04 e 05)

Group Statistics						
corte	força	árvore	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
90-0	Fp	valor	árvore 4	360	27,42	12,98
			árvore 5	360	22,71	11,55
	Fn	valor	árvore 4	360	6,51	2,77
			árvore 5	360	4,33	2,38
90-90	Fp	valor	árvore 4	360	36,44	25,69
			árvore 5	360	34,60	23,18
	Fn	valor	árvore 4	360	-0,59	4,46
			árvore 5	360	-0,04	4,12

Tabela 5.3. Teste de T para igualdade entre as médias de forças de corte das árvores 04 e 05.

Independent Samples Test												
corte	força			Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
				F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
											Lower	Upper
90-0	Fp	valor	Equal variances assumed	2,66	0,10	5,14	718	0,00	4,71	0,92	2,91	6,50
			Equal variances not assumed			5,14	708,55	0,00	4,71	0,92	2,91	6,50
	Fn	valor	Equal variances assumed	4,86	0,03	11,28	718	0,00	2,17	0,19	1,79	2,55
			Equal variances not assumed			11,28	701,77	0,00	2,17	0,19	1,79	2,55
90-90	Fp	valor	Equal variances assumed	3,90	0,05	1,01	718	0,31	1,85	1,82	-1,73	5,43
			Equal variances not assumed			1,01	710,58	0,31	1,85	1,82	-1,73	5,43
	Fn	valor	Equal variances assumed	1,52	0,22	-1,69	718	0,09	-0,54	0,32	-1,17	0,09
			Equal variances not assumed			-1,69	713,62	0,09	-0,54	0,32	-1,17	0,09

Tabela 5.4. Comparação entre as médias de força (N/mm) das árvores 03 e 05.

Group Statistics							
corte	força		árvore	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
90-0	Fp	valor	árvore 3	360	25,32	12,76	0,67
			árvore 5	360	22,71	11,55	0,61
	Fn	valor	árvore 3	360	5,04	2,51	0,13
			árvore 5	360	4,34	2,38	0,13
90-90	Fp	valor	árvore 3	360	34,94	23,18	1,22
			árvore 5	360	34,60	23,18	1,22
	Fn	valor	árvore 3	360	-0,43	4,19	0,22
			árvore 5	360	-0,04	4,12	0,22

Tabela 5.5. Teste de T para igualdade entre as médias de forças de corte (N/mm) das árvores 03 e 05.

Independent Samples Test											
corte	força			Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
				F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference Lower Upper
90-0	Fp	valor	Equal variances assumed	2,18	0,14	2,87	718,00	0,00	2,61	0,91	0,83 4,39
			Equal variances not assumed			2,87	711,09	0,00	2,61	0,91	0,83 4,39
	Fn	valor	Equal variances assumed	0,35	0,56	3,89	718,00	0,00	0,71	0,18	0,35 1,07
			Equal variances not assumed			3,89	715,92	0,00	0,71	0,18	0,35 1,07
90-90	Fp	valor	Equal variances assumed	0,00	0,99	0,20	718,00	0,84	0,35	1,73	-3,05 3,74
			Equal variances not assumed			0,20	718,00	0,84	0,35	1,73	-3,05 3,74
	Fn	valor	Equal variances assumed	0,04	0,85	-1,24	718,00	0,21	-0,39	0,31	-0,99 0,22
			Equal variances not assumed			-1,24	717,79	0,21	-0,39	0,31	-0,99 0,22

Tabela 5.6. Comparação entre as médias de forças de corte (N/mm) das árvores 01 e 03.

Group Statistics						
corte	força	árvore	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
90-0	Fp	árvore 1	360	23,56	11,71	0,62
		árvore 3	360	25,32	12,77	0,67
	Fn	árvore 1	360	4,95	2,12	0,11
		árvore 3	360	5,04	2,51	0,13
90-90	Fp	árvore 1	360	36,27	24,15	1,27
		árvore 3	360	34,94	23,18	1,22
	Fn	árvore 1	360	-0,42	4,52	0,24
		árvore 3	360	-0,43	4,19	0,22

Tabela 5.7. Teste de T para igualdade entre as médias de forças de corte das árvores 01 e 03.

Independent Samples Test											
corte	força			Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
				F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference Lower Upper
90-0	Fp	valor	Equal variances assumed	1,72	0,19	-1,93	718,00	0,05	-1,76	0,91	-3,55 0,03
			Equal variances not assumed			-1,93	712,85	0,05	-1,76	0,91	-3,55 0,03
	Fn	valor	Equal variances assumed	9,16	0,00	-0,54	718,00	0,59	-0,09	0,17	-0,43 0,25
			Equal variances not assumed			-0,54	696,77	0,59	-0,09	0,17	-0,43 0,25
90-90	Fp	valor	Equal variances assumed	0,87	0,35	0,75	718,00	0,45	1,33	1,76	-2,14 4,79
			Equal variances not assumed			0,75	716,81	0,45	1,33	1,76	-2,14 4,79
	Fn	valor	Equal variances assumed	3,62	0,06	0,03	718,00	0,97	0,01	0,32	-0,63 0,65
			Equal variances not assumed			0,03	713,99	0,97	0,01	0,32	-0,63 0,65

Hipótese 2: As forças de corte médias, na madeira de *Pinus taeda*, são estatisticamente diferentes quando se tomam amostras da base, do meio e do topo, para as 06 árvores estudadas.

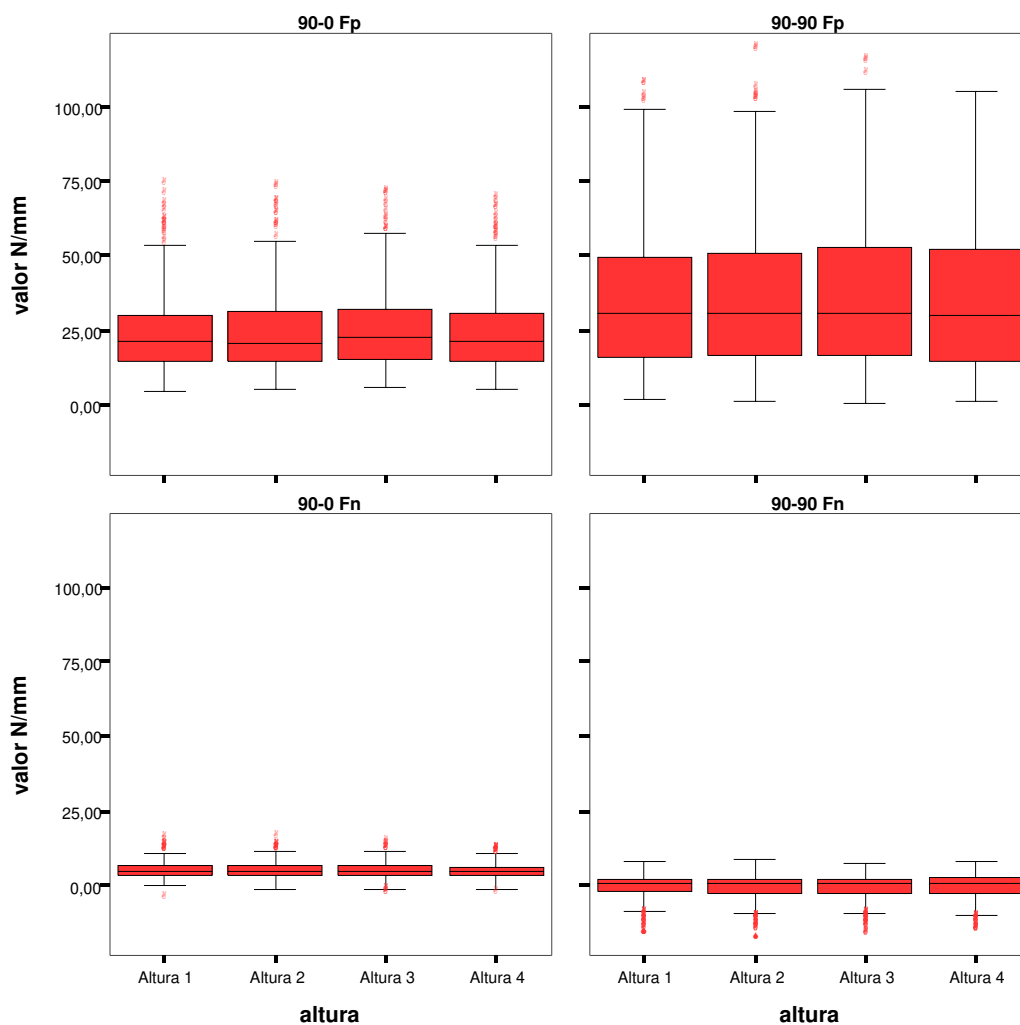


Figura 5.2 . Gráfico “Box Plot” das médias das forças paralela e normal nas 04 diferentes alturas, para todas as árvores de *Pinus taeda*.

Tabela 5.8. Médias das forças de corte paralela e normal (N/mm) nas 04 diferentes posições das seis árvores.

corte	força	altura	Mean	N	Std. Deviation
90-0	Fp	altura 1	24,39	540	12,42
		altura 2	24,52	540	12,76
		altura 3	25,51	540	12,56
		altura 4	24,16	540	12,23
		Total	24,64	2160	12,50
	Fn	altura 1	5,22	540	2,58
		altura 2	5,11	540	2,71
		altura 3	5,44	540	2,69
		altura 4	4,80	540	2,39
		Total	5,14	2160	2,60
90-90	Fp	altura 1	35,22	540	23,78
		altura 2	35,77	540	23,70
		altura 3	36,22	540	24,92
		altura 4	34,45	540	23,86
		Total	35,41	2160	24,07
	Fn	altura 1	-0,25	540	4,09
		altura 2	-0,31	540	4,13
		altura 3	-0,34	540	4,33
		altura 4	-0,12	540	4,39
		Total	-0,26	2160	4,23

Tabela 5.9. Comparação entre as médias de forças de corte (N/mm) extremas (posições 01 e 04)

Group Statistics							
corte	força		altura	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
90-0	Fp	valor	altura 1	540	24,39	12,42	0,53
			altura 4	540	24,16	12,23	0,53
	Fn	valor	altura 1	540	5,22	2,58	0,11
			altura 4	540	4,81	2,39	0,10
90-90	Fp	valor	altura 1	540	35,22	23,78	1,02
			altura 4	540	34,45	23,86	1,03
	Fn	valor	altura 1	540	-0,25	4,09	0,18
			altura 4	540	-0,12	4,39	0,19

Tabela 5.10. Teste de “T” para igualdade entre as médias das forças de corte nas posições 01 e 04.

Independent Samples Test												
corte	força			Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
				F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
											Lower	Upper
90-0	Fp	valor	Equal variances assumed	0,00	0,96	0,31	1078,00	0,76	0,23	0,75	-1,24	1,71
			Equal variances not assumed			0,31	1077,76	0,76	0,23	0,75	-1,24	1,71
	Fn	valor	Equal variances assumed	2,28	0,13	0,73	1078,00	0,00	0,41	0,15	0,12	0,71
			Equal variances not assumed			0,73	1072,12	0,00	0,41	0,15	0,12	0,71
90-90	Fp	valor	Equal variances assumed	0,00	0,97	0,53	1078,00	0,59	0,77	1,45	-2,07	3,62
			Equal variances not assumed			0,53	1077,99	0,59	0,77	1,45	-2,07	3,62
	Fn	valor	Equal variances assumed	2,47	0,11	-0,48	1078,00	0,63	-0,12	0,26	-0,63	0,38
			Equal variances not assumed			-0,48	1072,76	0,63	-0,12	0,26	-0,63	0,38

Hipótese 3: Existe diferença estatística entre as forças de corte médias para a madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*, para as seis árvores estudadas.

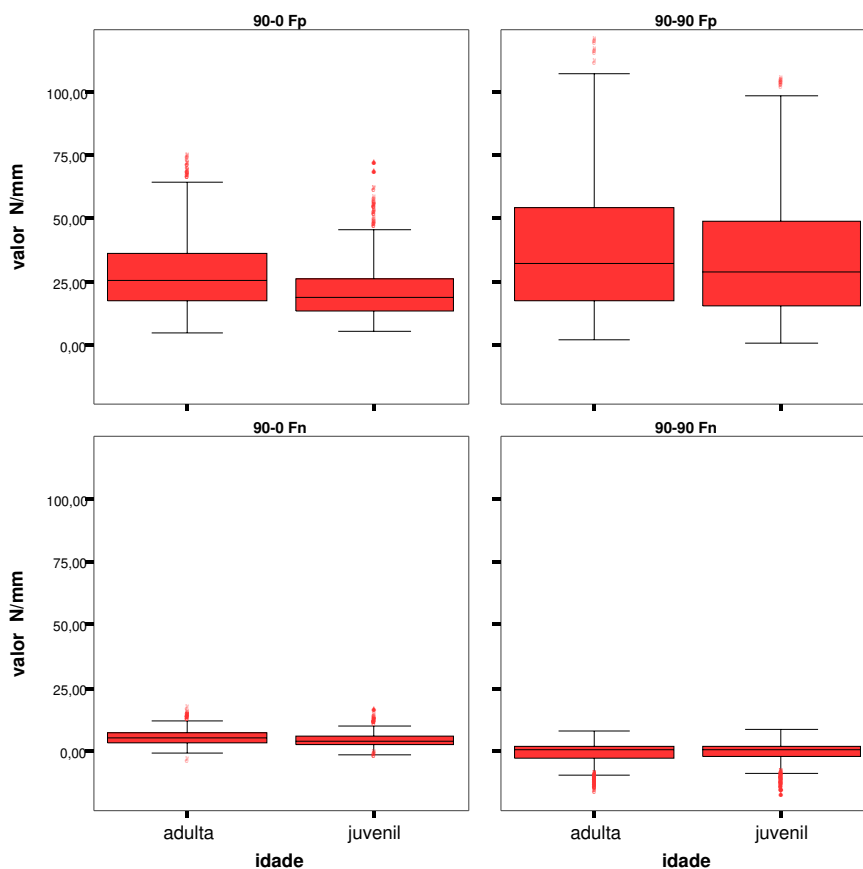


Figura 5.3. Gráfico “Box Plot” das médias das forças paralela e normal para as madeiras *Pinus taeda* jovem e adulta.

Tabela 5.11. Médias de forças de corte (N/mm) na madeira juvenil e adulta

Group Statistics							
corte	força		idade	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
90-0	Fp	valor	adulta	1080	28,16	13,51	0,41
			juvenil	1080	21,10	10,13	0,31
	Fn	valor	adulta	1080	5,65	2,71	0,08
			juvenil	1080	4,63	2,38	0,07
90-90	Fp	valor	adulta	1080	37,38	24,85	0,76
			juvenil	1080	33,45	23,10	0,70
	Fn	valor	adulta	1080	-0,45	4,20	0,13
			juvenil	1080	-0,06	4,26	0,13

Tabela 5.12. Teste de “T” para igualdade entre as médias das forças de corte na madeira juvenil e adulta.

Independent Samples Test												
corte	força			Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
				F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
											Lower	Upper
90-0	Fp	valor	Equal variances assumed	87,89	0,00	13,72	2158,00	0,00	7,08	0,52	6,07	8,09
			Equal variances not assumed			13,72	1995,06	0,00	7,08	0,52	6,07	8,09
	Fn	valor	Equal variances assumed	18,99	0,00	9,30	2158,00	0,00	1,02	0,11	0,81	1,24
			Equal variances not assumed			9,30	2122,59	0,00	1,02	0,11	0,81	1,24
90-90	Fp	valor	Equal variances assumed	4,17	0,04	3,81	2158,00	0,00	3,93	1,03	1,91	5,96
			Equal variances not assumed			3,81	2146,59	0,00	3,93	1,03	1,91	5,96
	Fn	valor	Equal variances assumed	0,00	0,99	-2,13	2158,00	0,03	-0,39	0,18	-0,74	-0,03
			Equal variances not assumed			-2,13	2157,58	0,03	-0,39	0,18	-0,74	-0,03

Hipótese 4: As forças de corte médias para as madeiras juvenil e adulta de *Pinus taeda* variam em função do tipo de corte, do ângulo de saída e da espessura de corte, para as árvores estudadas.

Tabela 5.13. Médias das forças de corte paralela e normal (N/mm) na madeira juvenil e adulta

corte	força	angulo	espessura	idade	Mean	N	Std. Deviation
90-0	Fp	10	0,2	adulta	16,29	72	3,17
				juvenil	12,94	72	3,23
				Total	14,61	144	3,61
			0,4	adulta	26,62	72	5,31
				juvenil	20,80	72	5,34
				Total	23,71	144	6,06
			0,6	adulta	35,62	72	8,80
				juvenil	27,12	72	7,41
				Total	31,37	144	9,16
			0,8	adulta	43,63	72	10,97
				juvenil	32,79	72	9,91
				Total	38,21	144	11,75
			1,0	adulta	52,26	72	13,11
				juvenil	38,93	72	11,11
				Total	45,59	144	13,83
		20	0,2	adulta	14,73	72	3,07
				juvenil	11,79	72	3,06
				Total	13,26	144	3,39
			0,4	adulta	22,34	72	5,10
				juvenil	16,86	72	4,62
				Total	19,60	144	5,57
			0,6	adulta	28,90	72	7,03
				juvenil	20,72	72	5,90
				Total	24,81	144	7,66
			0,8	adulta	34,13	72	9,96
				juvenil	24,18	72	7,57
				Total	29,16	144	10,13
			1,0	adulta	39,45	72	13,15
				juvenil	27,08	72	8,71
				Total	33,26	144	12,73
		30	0,2	adulta	12,52	72	2,86
				juvenil	10,19	72	2,70
				Total	11,35	144	3,00
			0,4	adulta	18,31	72	4,61
				juvenil	14,23	72	3,91
				Total	16,27	144	4,73
			0,6	adulta	22,36	72	6,40
				juvenil	17,09	72	4,93
				Total	19,72	144	6,28
			0,8	adulta	26,40	72	8,33
				juvenil	19,86	72	6,31
				Total	23,13	144	8,06
			1,0	adulta	29,20	72	10,09
				juvenil	22,01	72	7,37
				Total	25,60	144	9,51
	Fn	10	0,2	adulta	5,64	72	1,33
				juvenil	5,18	72	1,69
				Total	5,41	144	1,54
			0,4	adulta	7,05	72	1,68
				juvenil	5,90	72	1,86
				Total	6,48	144	1,86
			0,6	adulta	8,16	72	2,06
				juvenil	6,63	72	2,22
				Total	7,40	144	2,27
			0,8	adulta	9,07	72	2,28
				juvenil	7,04	72	2,08
				Total	8,05	144	2,40
			1,0	adulta	10,05	72	2,31
				juvenil	7,48	72	2,22
				Total	8,76	144	2,60

20	0,2	adulta	4,54	72	1,45
		juvenil	4,22	72	1,37
		Total	4,38	144	1,41
	0,4	adulta	5,04	72	1,66
		juvenil	4,24	72	1,91
		Total	4,64	144	1,83
	0,6	adulta	5,38	72	1,90
		juvenil	4,23	72	1,71
		Total	4,80	144	1,89
	0,8	adulta	5,52	72	2,14
		juvenil	4,19	72	1,82
		Total	4,85	144	2,09
	1,0	adulta	5,54	72	2,10
		juvenil	4,24	72	2,06
		Total	4,89	144	2,17
30	0,2	adulta	3,66	72	1,27
		juvenil	3,50	72	1,41
		Total	3,58	144	1,34
	0,4	adulta	3,96	72	1,61
		juvenil	3,53	72	1,78
		Total	3,75	144	1,71
	0,6	adulta	3,81	72	2,05
		juvenil	3,18	72	1,86
		Total	3,49	144	1,98
	0,8	adulta	3,84	72	1,86
		juvenil	2,89	72	1,95
		Total	3,36	144	1,96
	1,0	adulta	3,53	72	1,84
		juvenil	3,05	72	2,46
		Total	3,29	144	2,18
90-90 Fp 20	0,2	adulta	23,18	72	13,39
		juvenil	20,44	72	12,93
		Total	21,81	144	13,19
	0,4	adulta	37,53	72	18,39
		juvenil	33,02	72	17,41
		Total	35,28	144	17,99
	0,6	adulta	44,86	72	23,26
		juvenil	40,58	72	23,23
		Total	42,72	144	23,27
	0,8	adulta	58,12	72	26,17
		juvenil	50,10	72	26,40
		Total	54,11	144	26,50
	1,0	adulta	68,23	72	29,49
		juvenil	58,19	72	30,41
		Total	63,21	144	30,27
30	0,2	adulta	19,64	72	11,62
		juvenil	17,54	72	10,64
		Total	18,59	144	11,15
	0,4	adulta	31,96	72	16,90
		juvenil	27,06	72	16,43
		Total	29,51	144	16,79
	0,6	adulta	40,59	72	20,73
		juvenil	36,61	72	19,76
		Total	38,60	144	20,28
	0,8	adulta	48,75	72	23,61
		juvenil	41,63	72	23,28
		Total	45,19	144	23,63
	1,0	adulta	59,05	72	26,72
		juvenil	49,29	72	25,63
		Total	54,17	144	26,54

40	0,2	adulta	11,51	72	6,32
		juvenil	10,94	72	6,59
		Total	11,22	144	6,44
	0,4	adulta	19,61	72	9,39
		juvenil	19,20	72	9,70
		Total	19,41	144	9,52
	0,6	adulta	25,50	72	12,15
		juvenil	25,74	72	12,92
		Total	25,62	144	12,49
	0,8	adulta	33,71	72	16,16
		juvenil	32,91	72	16,25
		Total	33,31	144	16,16
	1,0	adulta	38,45	72	18,10
		juvenil	38,45	72	19,38
		Total	38,45	144	18,68
Fn 20	0,2	adulta	2,50	72	1,75
		juvenil	2,34	72	1,75
		Total	2,42	144	1,74
	0,4	adulta	1,83	72	2,13
		juvenil	2,27	72	2,38
		Total	2,05	144	2,26
	0,6	adulta	1,16	72	2,80
		juvenil	1,62	72	3,09
		Total	1,39	144	2,95
	0,8	adulta	0,25	72	3,54
		juvenil	1,00	72	3,82
		Total	0,62	144	3,69
	1,0	adulta	-0,49	72	3,74
		juvenil	0,30	72	4,55
		Total	-0,09	144	4,16
30	0,2	adulta	2,16	72	1,93
		juvenil	1,91	72	1,67
		Total	2,04	144	1,81
	0,4	adulta	1,48	72	1,93
		juvenil	1,61	72	1,91
		Total	1,55	144	1,91
	0,6	adulta	0,92	72	2,41
		juvenil	1,20	72	2,62
		Total	1,06	144	2,52
	0,8	adulta	0,17	72	3,16
		juvenil	0,51	72	3,28
		Total	0,34	144	3,21
	1,0	adulta	-0,74	72	3,80
		juvenil	-0,22	72	4,26
		Total	-0,48	144	4,03
40	0,2	adulta	0,17	72	1,85
		juvenil	0,20	72	1,73
		Total	0,18	144	1,78
	0,4	adulta	-1,66	72	3,00
		juvenil	-1,17	72	2,77
		Total	-1,41	144	2,89
	0,6	adulta	-3,02	72	3,92
		juvenil	-2,56	72	4,08
		Total	-2,79	144	3,99
	0,8	adulta	-5,46	72	5,42
		juvenil	-4,66	72	5,53
		Total	-5,06	144	5,47
	1,0	adulta	-6,01	72	5,97
		juvenil	-5,27	72	6,42
		Total	-5,64	144	6,19

Tabela 5.14. Teste de “T” para igualdade entre as médias das forças de corte paralela e normal para as madeira juvenil e adulta entre cada tipo de corte, ângulo de saída e espessura de corte.

Independent Samples Test													
corte Força ângulo espessura					Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
					F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
												Lower	Upper
90-0 Fp 10	0,2	Equal variances assumed	0,00	0,10	6,29	142,00	0,00	3,36	0,53	2,30	4,41		
		Equal variances not assumed			6,29	141,94	0,00	3,36	0,53	2,30	4,41		
	0,4	Equal variances assumed	0,02	0,88	6,55	142,00	0,00	5,81	0,89	4,06	7,57		
		Equal variances not assumed			6,55	142,00	0,00	5,81	0,89	4,06	7,57		
	0,6	Equal variances assumed	1,87	0,17	6,27	142,00	0,00	8,49	1,36	5,81	11,17		
		Equal variances not assumed			6,27	138,00	0,00	8,49	1,36	5,81	11,17		
	0,8	Equal variances assumed	1,46	0,23	6,23	142,00	0,00	10,85	1,74	7,40	14,29		
		Equal variances not assumed			6,23	140,55	0,00	10,85	1,74	7,40	14,29		
	1,0	Equal variances assumed	2,84	0,09	6,58	142,00	0,00	13,33	2,03	9,33	17,34		
		Equal variances not assumed			6,58	138,25	0,00	13,33	2,03	9,33	17,34		
20	0,2	Equal variances assumed	0,06	0,80	5,74	142,00	0,00	2,94	0,51	1,93	3,95		
		Equal variances not assumed			5,74	148,00	0,00	2,94	0,51	1,93	3,95		
	0,4	Equal variances assumed	0,63	0,43	6,75	142,00	0,00	5,48	0,81	3,87	7,08		
		Equal variances not assumed			6,75	140,60	0,00	5,48	0,81	3,87	7,08		
	0,6	Equal variances assumed	2,93	0,09	7,56	142,00	0,00	8,18	1,08	6,04	10,32		
		Equal variances not assumed			7,56	137,89	0,00	8,18	1,08	6,04	10,32		
	0,8	Equal variances assumed	7,33	0,01	6,75	142,00	0,00	9,95	1,47	7,04	12,86		
		Equal variances not assumed			6,75	132,50	0,00	9,95	1,47	7,04	12,86		
	1,0	Equal variances assumed	14,37	0,00	6,66	142,00	0,00	12,37	1,86	8,70	16,04		
		Equal variances not assumed			6,66	123,20	0,00	12,37	1,86	8,70	16,04		

30	0,2	Equal variances assumed	0,72	0,40	5,03	142,00	0,00	2,33	0,46	1,41	3,24
		Equal variances not assumed			5,03	141,54	0,00	2,33	0,46	1,41	3,24
	0,4	Equal variances assumed	3,33	0,07	5,72	142,00	0,00	4,08	0,71	2,67	5,49
		Equal variances not assumed			5,72	138,28	0,00	4,08	0,71	2,67	5,49
	0,6	Equal variances assumed	5,71	0,02	5,54	142,00	0,00	5,28	0,95	3,40	7,16
		Equal variances not assumed			5,54	133,42	0,00	5,28	0,95	3,40	7,16
	0,8	Equal variances assumed	6,15	0,01	5,30	142,00	0,00	6,53	1,23	4,10	8,97
		Equal variances not assumed			5,30	132,33	0,00	6,53	1,23	4,10	8,97
	1,0	Equal variances assumed	6,9	0,01	4,90	142,00	0,00	7,19	1,47	4,27	10,10
		Equal variances not assumed			4,90	130,00	0,00	7,19	1,47	4,27	10,10
Fn 10	0,2	Equal variances assumed	4,57	0,03	1,81	142,00	0,07	0,46	0,25	-0,04	0,96
		Equal variances not assumed			1,81	134,51	0,07	0,46	0,25	-0,04	0,96
	0,4	Equal variances assumed	1,03	0,31	3,90	142,00	0,00	1,15	0,30	0,57	1,73
		Equal variances not assumed			3,90	140,54	0,00	1,15	0,30	0,57	1,73
	0,6	Equal variances assumed	0,11	0,74	4,31	142,00	0,00	1,54	,036	0,83	2,24
		Equal variances not assumed			4,31	141,17	0,00	1,54	0,36	0,83	2,24
	0,8	Equal variances assumed	0,10	0,76	5,58	142,00	0,00	2,03	0,36	1,31	2,75
		Equal variances not assumed			5,58	140,81	0,00	2,03	0,36	1,31	2,75
	1,0	Equal variances assumed	0,08	0,77	6,81	142,00	0,00	2,57	0,38	1,82	3,32
		Equal variances not assumed			6,81	141,75	0,00	2,57	0,38	1,82	3,32

20	0,2	Equal variances assumed	0,00	0,99	1,40	142,00	0,16	0,33	0,23	-0,13	0,79
		Equal variances not assumed			1,40	141,59	0,16	0,33	0,23	-0,13	0,79
	0,4	Equal variances assumed	0,27	0,60	2,67	142,00	0,01	0,80	0,30	0,21	1,38
		Equal variances not assumed			2,67	139,38	0,01	0,80	0,30	0,21	1,38
	0,6	Equal variances assumed	0,24	0,62	3,83	142,00	0,00	1,15	0,30	0,56	1,75
		Equal variances not assumed			3,83	140,45	0,00	1,15	0,30	0,56	1,75
	0,8	Equal variances assumed	0,37	0,54	4,02	142,00	0,00	1,33	0,33	0,67	1,98
		Equal variances not assumed			4,02	138,54	0,00	1,33	0,33	0,67	1,98
	1,0	Equal variances assumed	0,05	0,82	3,76	142,00	0,00	1,30	0,35	0,62	1,99
		Equal variances not assumed			3,76	141,96	0,00	1,30	0,35	0,62	1,99
30	0,2	Equal variances assumed	0,70	0,41	0,70	142,00	0,49	0,16	0,22	-0,29	0,60
		Equal variances not assumed			0,70	140,51	0,49	0,16	0,22	-0,29	0,60
	0,4	Equal variances assumed	0,59	0,45	1,54	142,00	0,13	0,44	0,28	-0,12	1,00
		Equal variances not assumed			1,54	140,51	0,13	0,44	0,28	-0,12	1,00
	0,6	Equal variances assumed	0,00	0,97	1,94	142,00	0,05	0,63	0,33	-0,01	1,28
		Equal variances not assumed			1,94	140,63	0,05	0,63	0,33	-0,01	1,28
	0,8	Equal variances assumed	0,11	0,75	3,01	142,00	0,00	0,95	0,32	0,33	1,58
		Equal variances not assumed			3,01	141,64	0,00	0,95	0,32	0,33	1,58
	1,0	Equal variances assumed	3,38	0,07	1,35	142,00	0,18	0,49	0,36	-0,23	1,20
		Equal variances not assumed			1,35	131,31	0,18	0,49	0,36	-0,23	1,20

90-90 Fp	20	0,2	Equal variances assumed	0,11	0,74	1,25	142,00	0,21	2,74	2,19	-1,60	7,07
			Equal variances not assumed			1,25	141,83	0,21	2,74	2,19	-1,60	7,07
		0,4	Equal variances assumed	0,16	0,69	1,51	142,00	0,13	4,51	2,98	-1,39	10,41
			Equal variances not assumed			1,51	141,58	0,13	4,51	2,98	-1,39	10,41
		0,6	Equal variances assumed	0,01	0,94	1,11	142,00	0,27	4,28	3,87	-3,38	11,94
			Equal variances not assumed			1,11	142,00	0,27	4,28	3,87	-3,38	11,94
		0,8	Equal variances assumed	0,08	0,77	1,83	142,00	0,07	8,03	4,38	-0,64	16,69
			Equal variances not assumed			1,83	141,99	0,07	8,03	4,38	-0,64	16,69
		1,0	Equal variances assumed	0,21	0,65	2,01	142,00	0,05	10,04	4,99	0,17	19,91
			Equal variances not assumed			2,01	141,87	0,05	10,04	4,99	0,17	19,91
	30	0,2	Equal variances assumed	0,95	0,33	1,13	142,00	0,26	2,11	1,86	-1,56	5,77
			Equal variances not assumed			1,13	140,91	0,26	2,11	1,86	-1,56	5,77
		0,4	Equal variances assumed	0,01	0,91	1,76	142,00	0,08	4,90	2,78	-0,69	10,39
			Equal variances not assumed			1,76	141,89	0,08	4,90	2,78	-0,69	10,39
		0,6	Equal variances assumed	0,21	0,65	1,18	142,00	0,24	3,98	3,37	-2,69	10,66
			Equal variances not assumed			1,18	141,68	0,24	3,98	3,37	-2,69	10,66
		0,8	Equal variances assumed	0,00	0,99	1,82	142,00	0,07	7,13	3,91	-0,60	14,85
			Equal variances not assumed			1,82	141,97	0,07	7,13	3,91	-0,60	14,85
		1,0	Equal variances assumed	0,02	0,89	2,24	142,00	0,03	9,76	4,36	1,14	18,39
			Equal variances not assumed			2,24	141,76	0,03	9,76	4,36	1,14	18,39

40		0,2	Equal variances assumed	0,03	0,86	0,53	142,00	0,60	0,57	1,08	-1,56	2,70
			Equal variances not assumed			0,53	141,75	0,60	0,57	1,08	-1,56	2,70
		0,4	Equal variances assumed	0,04	0,85	0,26	142,00	0,79	0,42	1,59	-2,73	3,56
			Equal variances not assumed			0,26	141,85	0,79	0,42	1,59	-2,73	3,56
		0,6	Equal variances assumed	0,47	0,50	-0,11	142,00	0,91	-0,24	2,09	-4,37	3,89
			Equal variances not assumed			-0,11	141,47	0,91	-0,24	2,09	-4,37	3,89
		0,8	Equal variances assumed	0,72	0,90	0,30	142,00	0,78	0,80	2,70	-4,54	6,14
			Equal variances not assumed			0,30	141,60	0,78	0,80	2,70	-4,54	6,14
		1,0	Equal variances assumed	0,73	0,39	0,00	142,00	1,00	-0,01	3,12	-6,18	6,17
			Equal variances not assumed			0,00	141,35	1,00	-0,01	3,12	-6,18	6,17
Fn	20	0,2	Equal variances assumed	0,05	0,83	0,54	142,00	0,59	0,16	0,29	-0,42	0,73
			Equal variances not assumed			0,54	142,00	0,59	0,16	0,29	-0,42	0,73
		0,4	Equal variances assumed	0,83	0,37	-1,18	142,00	0,24	-0,45	0,38	-1,19	0,30
			Equal variances not assumed			-1,18	140,23	0,24	-0,45	0,38	-1,19	0,30
		0,6	Equal variances assumed	0,45	0,51	-0,93	142,00	0,36	-0,46	0,49	-1,43	0,52
			Equal variances not assumed			-0,93	140,68	0,36	-0,46	0,49	-1,43	0,52
		0,8	Equal variances assumed	0,27	0,60	-1,22	142,00	0,23	-0,75	0,61	-1,96	0,47
			Equal variances not assumed			-1,22	141,22	0,23	-0,75	0,61	-1,96	0,47
		1,0	Equal variances assumed	2,53	0,11	-1,14	142,00	0,26	-0,79	0,69	-2,16	0,58
			Equal variances not assumed			-1,14	136,87	0,26	-0,79	0,69	-2,16	0,58

30	0,2	Equal variances assumed	0,71	0,40	0,85	142,00	0,39	0,26	0,30	-0,34	0,85
		Equal variances not assumed			0,85	139,19	0,39	0,26	0,30	-0,34	0,85
	0,4	Equal variances assumed	0,02	0,89	-0,40	142,00	0,69	-0,13	0,32	-0,76	0,51
		Equal variances not assumed			-0,40	141,98	0,69	-0,13	0,32	-0,76	0,51
	0,6	Equal variances assumed	0,27	0,60	-0,66	142,00	0,51	-0,28	0,42	-1,11	0,55
		Equal variances not assumed			-0,66	141,02	0,51	-0,28	0,42	-1,11	0,55
	0,8	Equal variances assumed	0,12	0,73	-0,65	142,00	0,52	-0,35	0,54	-1,41	0,71
		Equal variances not assumed			-0,65	141,80	0,52	-0,35	0,54	-1,41	0,71
	1,0	Equal variances assumed	1,03	0,31	-0,79	142,00	0,43	-0,53	0,67	-1,86	0,80
		Equal variances not assumed			-0,79	140,15	0,43	-0,53	0,67	-1,86	0,80
40	0,2	Equal variances assumed	0,08	0,78	-0,12	142,00	0,91	-0,03	0,30	-0,62	0,56
		Equal variances not assumed			-0,12	141,32	0,91	-0,03	0,30	-0,62	0,56
	0,4	Equal variances assumed	0,30	0,58	-1,00	142,00	0,32	-0,48	0,48	-1,44	0,47
		Equal variances not assumed			-1,00	141,10	0,32	-0,48	0,48	-1,44	0,47
	0,6	Equal variances assumed	0,16	0,69	-0,68	142,00	0,50	-0,46	0,67	-1,77	0,86
		Equal variances not assumed			-0,68	141,79	0,50	-0,46	0,67	-1,77	0,86
	0,8	Equal variances assumed	0,00	0,96	-0,88	142,00	0,38	-0,80	0,91	-2,61	1,00
		Equal variances not assumed			-0,88	141,94	0,38	-0,80	0,91	-2,61	1,00
	1,0	Equal variances assumed	0,53	0,47	-0,71	142,00	0,48	-0,74	1,03	-2,78	1,31
		Equal variances not assumed			-0,71	141,25	0,48	-0,74	1,03	-2,78	1,31

Hipótese 5: Existe diferença estatística entre a densidade média da madeira juvenil e adulta, para as seis árvores estudadas.

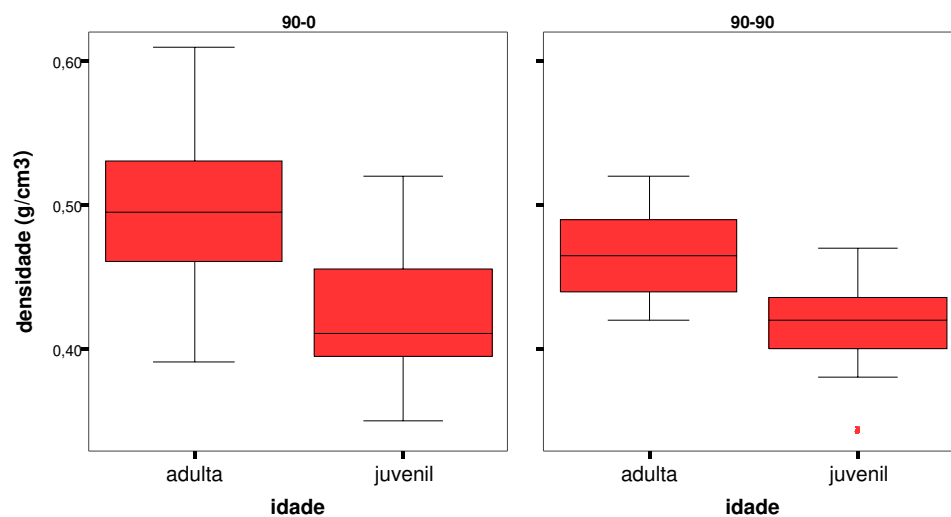


Figura 5.4 . Gráfico “Box Plot” das médias das densidade básica para as madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* .

Tabela 5.15. Médias de densidade (g/cm^3) para madeira juvenil e adulta

Densidade				
corte	idade	Mean	N	Std. Deviation
90-0	adulta	0,49	2160	0,05
	juvenil	0,42	2160	0,04
	Total	0,46	4320	0,06
90-90	adulta	0,47	2160	0,03
	juvenil	0,42	2160	0,03
	Total	0,44	4320	0,04

Tabela 5.16. Teste de “T” para igualdade entre as médias de densidade para madeira juvenil e adulta.

Independent Samples Test											
			Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
			F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
corte	densidade									Lower	Upper
90-0	densidade	Equal variances assumed	93,731	,000	47,361	4318	,000	,0704	,00149	,06750	,07333
		Equal variances not assumed			47,361	4099,483	,000	,0704	,00149	,06750	,07333
90-90	densidade	Equal variances assumed	44,863	,000	56,821	4318	,000	,0483	,00085	,04667	,05000
		Equal variances not assumed			56,821	4317,724	,000	,0483	,00085	,04667	,05000

5.3 Comportamento das forças de corte

Com os resultados de forças de corte tabelados, foram elaborados gráficos que melhor expressam o comportamento das forças de corte na madeira de pinus, em função dos diversos parâmetros estudados.

As figuras 5.5 a 5.28 apresentam os gráficos da relação entre as forças de corte paralela e normal máxima, média e mínima no corte ortogonal 90-0 e 90-90, direção radial, madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*, em função dos parâmetros espessura de corte e ângulo de saída da ferramenta.

Cada valor de força de corte plotado corresponde à média de quatro repetições, ou seja, quatro passadas de corte em cada espessura, para cada ângulo de saída, em cada tipo de corte (90-0; 90-90), nas zonas de madeira juvenil e adulta.

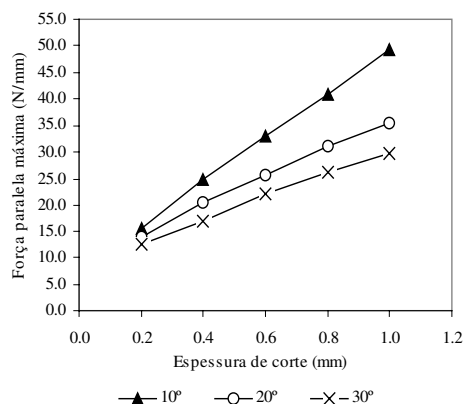


Figura 5.5. Relação entre a força de corte paralela máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

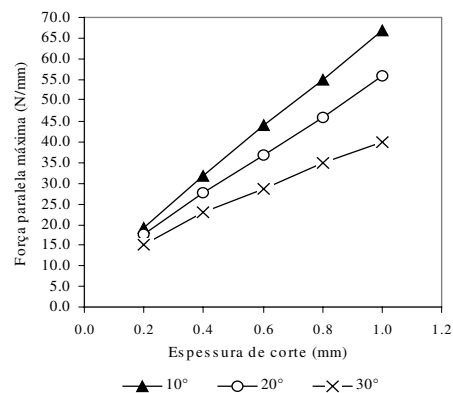


Figura 5.6. Relação entre a força de corte paralela máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

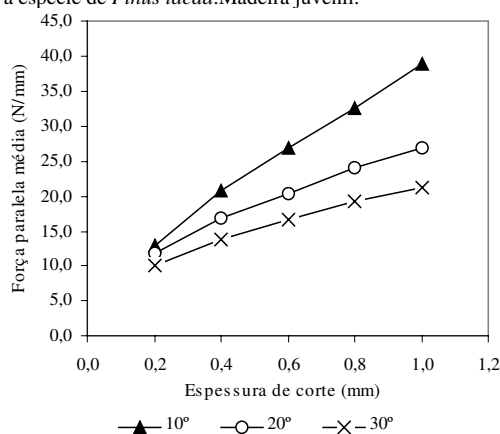


Figura 5.7. Relação entre a força de corte paralela média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

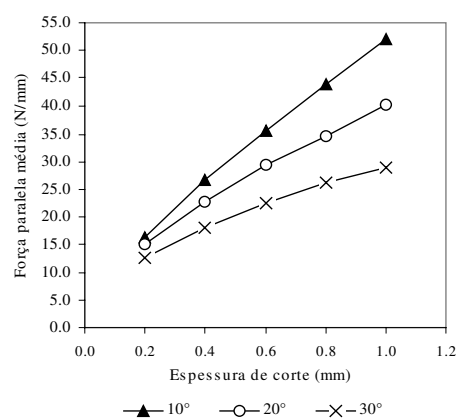


Figura 5.8. Relação entre a força de corte paralela média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

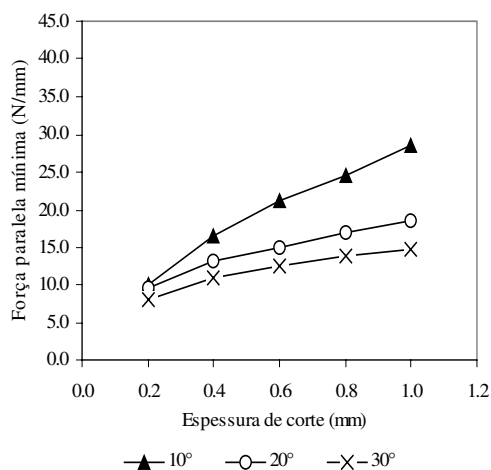


Figura 5.9. Relação entre a força de corte paralela mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

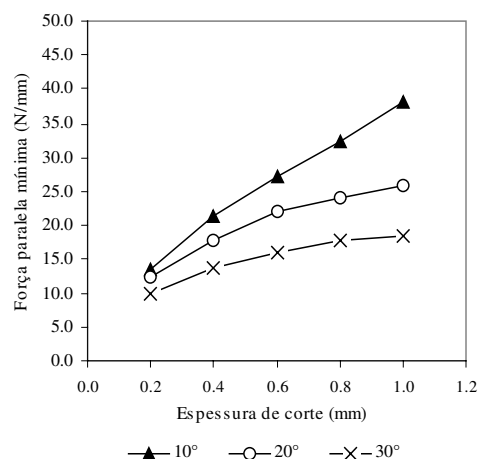


Figura 5.10. Relação entre a força de corte paralela mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

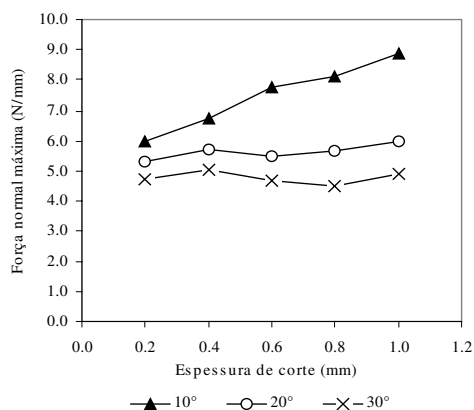


Figura 5.11. Relação entre a força de corte normal máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

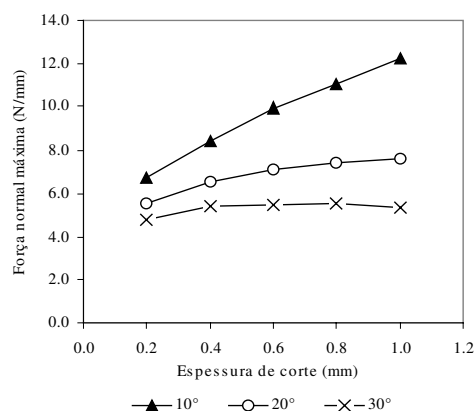


Figura 5.12. Relação entre a força de corte normal máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

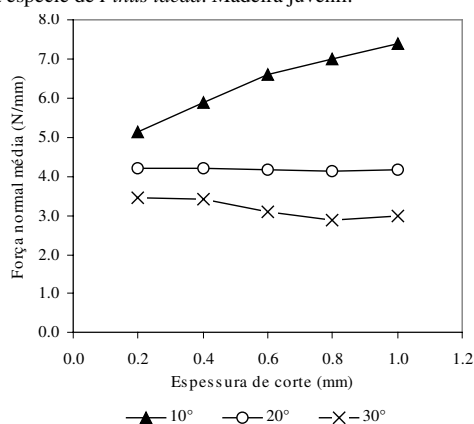


Figura 5.13. Relação entre a força de corte normal média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

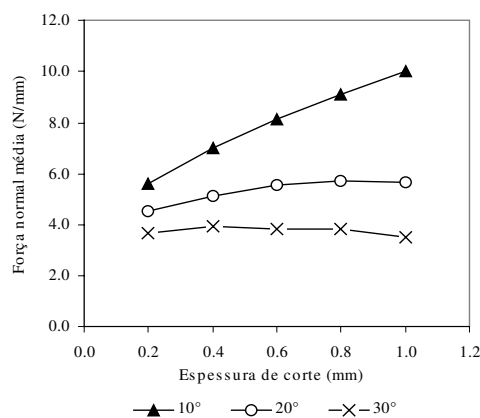


Figura 5.14. Relação entre a força de corte normal média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

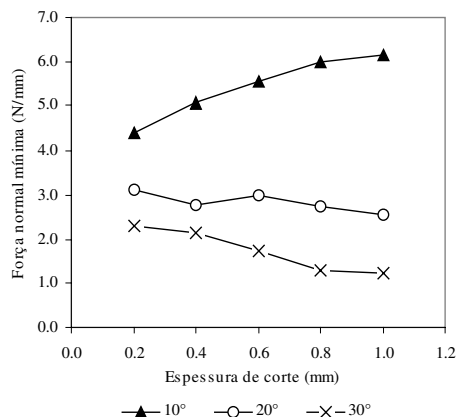


Figura 5.15. Relação entre a força de corte normal mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

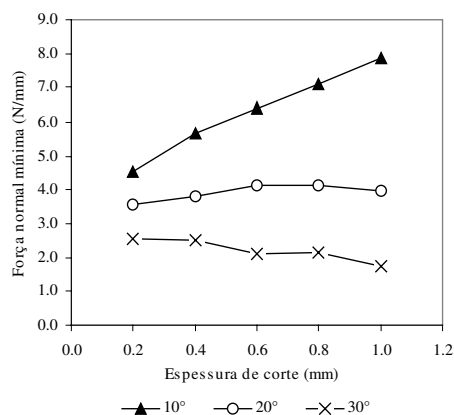


Figura 5.16. Relação entre a força de corte normal mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

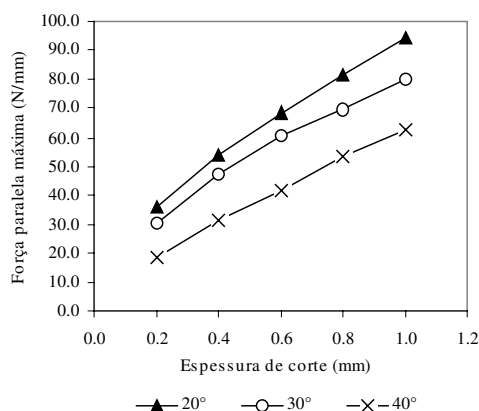


Figura 5.17. Relação entre a força de corte paralela máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

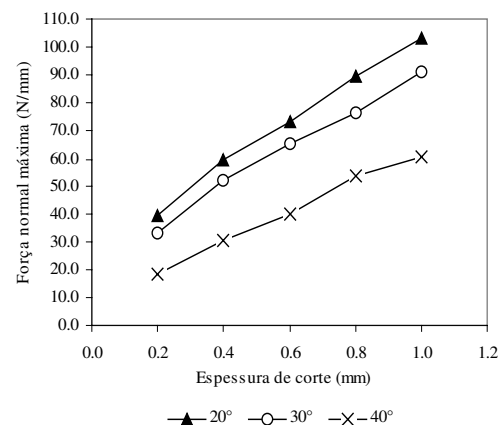


Figura 5.18. Relação entre a força de corte paralela máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

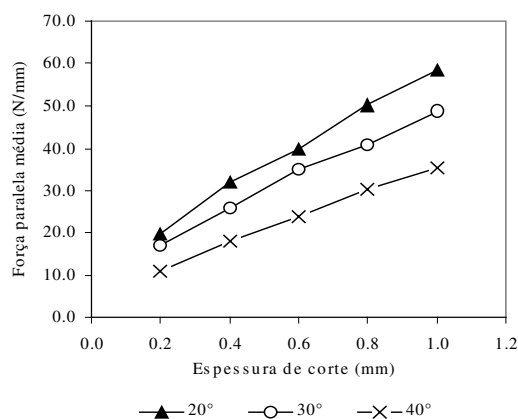


Figura 5.19. Relação entre a força de corte paralela média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

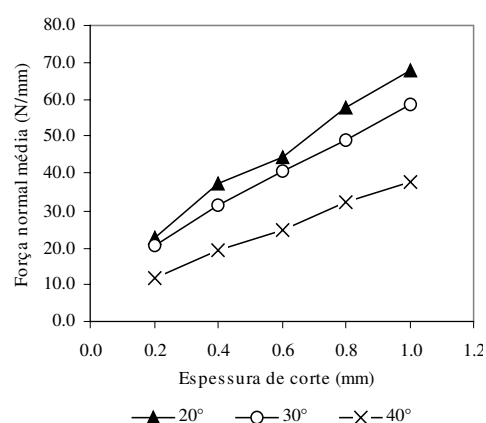


Figura 5.20. Relação entre a força de corte paralela média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

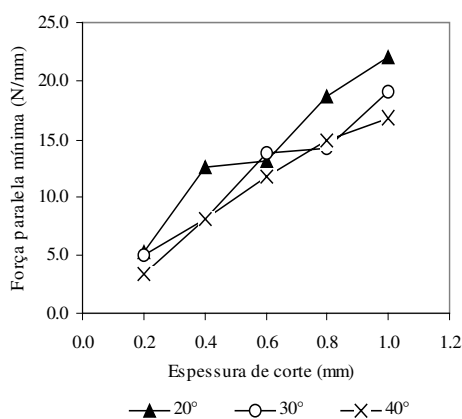


Figura 5.21. Relação entre a força de corte paralela mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

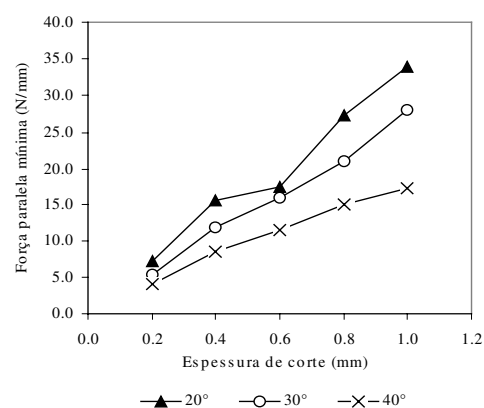


Figura 5.22. Relação entre a força de corte paralela mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

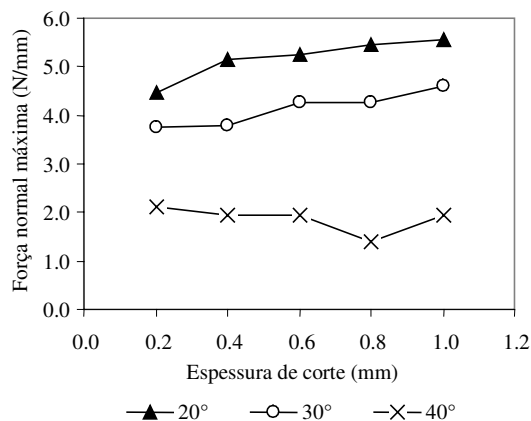


Figura 5.23. Relação entre a força de corte normal máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

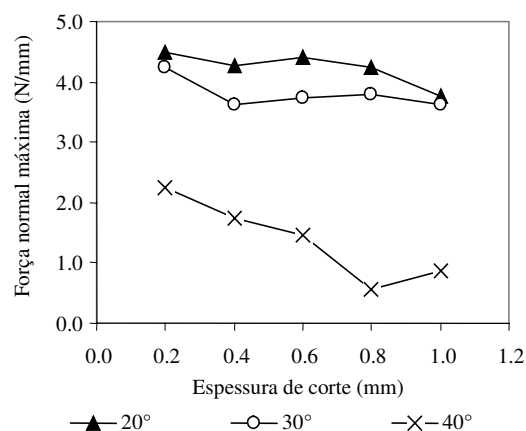


Figura 5.24. Relação entre a força de corte normal máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

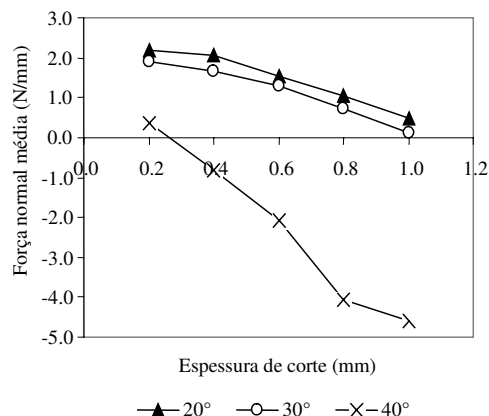


Figura 5.25. Relação entre a força de corte normal média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

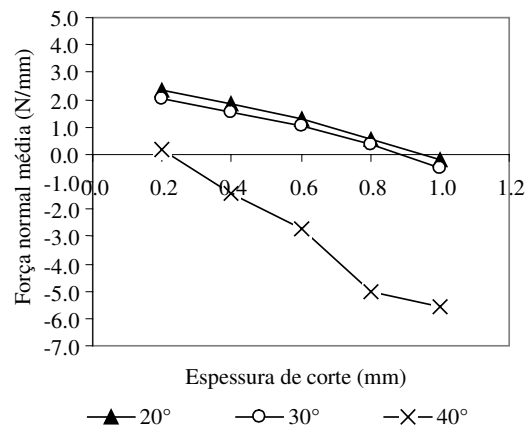


Figura 5.26. Relação entre a força de corte normal média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

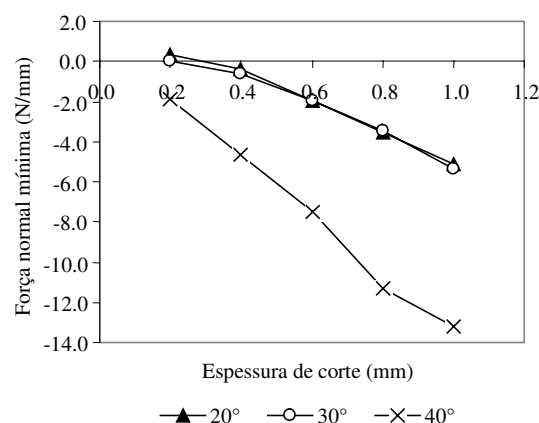


Figura 5.27. Relação entre a força de corte normal mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira juvenil.

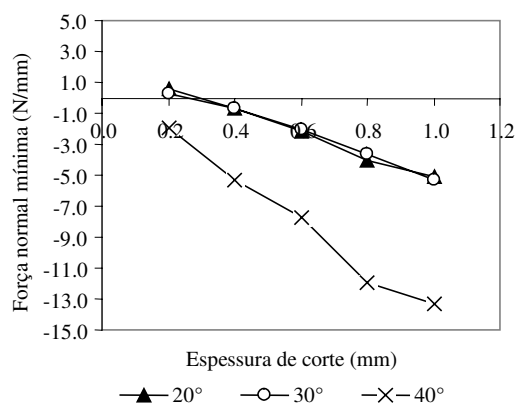


Figura 5.28. Relação entre a força de corte normal mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de *Pinus taeda*. Madeira adulta.

5.4 Ângulo ideal relativo de saída da ferramenta de corte

Os resultados dos cálculos dos ângulos ideais de saída da ferramenta para o corte 90-0 são apresentados na Tabela 5.17. Cada valor do ângulo ideal de saída e coeficiente de atrito, calculados por meio da equação de STEWART (1977), é função da média de todos os valores de forças de corte paralela e normal, obtida no corte 90-0 para madeira juvenil e adulta, para todos os ângulos de saída em cada espessura de corte.

O valor do coeficiente de atrito tabelado representa, ainda, a média dos coeficientes de atrito calculados com os ângulos de saída de 10^0 , 20^0 e 30^0 , expressos na equação em radianos .

Tabela 5.17. Ângulo ideal relativo de saída (γ) em graus e coeficiente de atrito no corte 90-0 para madeira adulta e juvenil de *Pinus taeda*. Condição: madeira saturada

ângulo ideal de saída (γ) e do coeficiente de atrito (μ) no Corte ortogonal 90-0 direção radial				
Espessura de corte (mm)	Madeira juvenil		Madeira adulta	
	ângulo ideal (γ)	Coef. Atrito (μ)	ângulo ideal (γ)	Coef. Atrito (μ)
0,2	41,30	0,88	38,57	0,80
0,4	35,59	0,72	34,21	0,68
0,6	32,95	0,65	32,02	0,63
0,8	31,11	0,60	30,72	0,59
1,0	30,20	0,58	29,68	0,57
Todas espessuras	33,13	0,65	32,08	0,63

5.5 Pressão específica de corte

As Tabelas 5.18 e 5.19 apresentam os resultados dos cálculos da pressão específica de corte K_{S1} , do parâmetro adimensional $1-z$ e o coeficiente de determinação da relação pressão específica de corte e espessura de corte para as espécies de eucalipto (*grandis*, *saligna* e *citriodora*) e *Pinus taeda*, respectivamente.

Tabela 5.18. Pressão específica de corte para a madeira de eucalipto

Pressão específica de corte - Madeira de eucalipto							
Corte 90-0 direção tangencial				Corte 90-0 direção radial			
E. grandis	$\gamma = 10^\circ$	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$	E. grandis	$\gamma = 10^\circ$	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$
Ks ₁	3,0379	2,5981	1,5317	Ks ₁	3,5106	2,8233	2,0705
1-Z	0,8233	0,8631	0,4887	1-Z	0,8793	0,8909	0,8457
R ²	0,9622	0,9857	0,9488	R ²	0,9973	0,9285	0,9421
E. saligna				E. saligna			
Ks ₁	4,4843	3,4117	2,1164	Ks ₁	4,7025	3,8424	1,6558
1-Z	0,8502	0,7586	0,4938	1-Z	0,9066	0,8418	0,0922
R ²	0,9740	0,8103	0,9765	R ²	0,9857	0,9132	0,9091
E. citriodora				E. citriodora			
Ks ₁	5,9020	4,6539	2,6912	Ks ₁	6,9365	3,3108	1,8221
1-Z	0,8820	0,7942	0,4894	1-Z	0,8440	0,3024	0,3785
R ²	0,9879	0,8993	0,9830	R ²	0,9940	0,9699	0,9934
Corte 90-90 direção tangencial				Corte 90-90 direção radial			
E. grandis	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$	$\gamma = 40^\circ$	E. grandis	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$	$\gamma = 40^\circ$
Ks ₁	4,7351	3,9805	3,2717	Ks ₁	5,0567	3,8464	3,1940
1-Z	0,8985	0,8409	0,7684	1-Z	0,9343	0,8664	0,8699
R ²	0,8507	0,9080	0,9506	R ²	0,7556	0,9956	0,9637
E. saligna				E. saligna			
Ks ₁	7,2225	5,4860	4,3349	Ks ₁	8,0227	6,4218	5,1962
1-Z	0,9702	0,9452	0,9416	1-Z	0,9801	0,9523	0,9332
R ²	0,6790	0,5367	0,1596	R ²	0,8211	0,2463	0,7066
E. citriodora				E. citriodora			
Ks ₁	13,5560	10,2826	8,1302	Ks ₁	13,220	10,530	9,0736
1-Z	0,9766	0,9824	0,9932	1-Z	0,8405	0,9530	0,9175
R ²	0,1238	0,2820	0,0265	R ²	0,8637	0,7600	0,9862

Tabela 5.19. Pressão específica de corte para a madeira de *Pinus taeda*

Pressão específica de corte - Madeira de <i>pinus taeda</i>							
Corte 90-0 radial - madeira juvenil				Corte 90-0 radial - madeira adulta			
	$\gamma = 10^\circ$	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$		$\gamma = 10^\circ$	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$
Ks ₁	6,4064	4,5006	3,5580	Ks ₁	8,6029	6,6779	4,8725
1-Z	0,6759	0,5176	0,4745	1-Z	0,7153	0,6122	0,5238
R ²	0,9987	0,9996	0,9993	R ²	0,9990	0,9995	0,9992
Corte 90-90 radial - madeira juvenil				Corte 90-90 radial - madeira adulta			
	$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$	$\gamma = 40^\circ$		$\gamma = 20^\circ$	$\gamma = 30^\circ$	$\gamma = 40^\circ$
Ks ₁	19,708	15,563	11,470	Ks ₁	21,353	18,425	12,029
1-Z	0,6664	0,6481	0,7402	1-Z	0,6627	0,6435	0,7239
R ²	0,9927	0,9912	0,9947	R ²	0,9669	0,9951	0,9862

5.6 Densidade básica e Umidade

Os resultados dos cálculos da densidade básica e umidade dos corpos-de-prova são apresentados nas Tabelas 5.20 e 5.21.

Tabela 5.20. Valores de densidade básica e umidade. Corpos-de-prova do corte 90-0 radial (madeira juvenil e adulta)

Valores de densidade básica da madeira de <i>Pinus Taeda</i> Corte 90-0 radial - madeira juvenil - árvore 01					
cp	massa úmida (g)	massa anidra (g)	volume verde (cm3)	Densidade (g/cm3)	umidade (%)
11j	15,64	6,36	16,70	0,38	59,34
12j	16,40	7,25	17,52	0,41	55,79
13j	14,55	6,36	16,00	0,40	56,29
14j	15,22	6,72	16,20	0,41	55,85
média				0,40	56,82
Corte 90-0 radial - madeira juvenil - árvore 02					
21j	14,58	6,97	16,90	0,41	52,19
22j	15,36	6,71	15,79	0,42	56,32
23j	12,66	5,44	15,68	0,35	57,03
24j	15,70	5,97	16,04	0,37	61,97
média				0,39	56,88
Corte 90-0 radial - madeira juvenil - árvore 03					
31j	13,13	5,77	15,14	0,38	56,05
32j	14,96	6,90	16,40	0,42	53,88
33j	15,29	6,95	17,23	0,40	54,55
34j	14,68	7,27	16,89	0,43	50,48
média				0,41	53,74
Corte 90-0 radial - madeira juvenil - árvore 04					
41j	17,45	8,22	18,01	0,46	52,89
42j	18,34	8,26	17,60	0,47	54,96
43j	13,75	6,18	16,16	0,38	55,05
44j	17,34	6,92	16,65	0,42	60,09
média				0,43	55,75
Corte 90-0 radial - madeira juvenil - árvore 05					
51j	12,70	5,90	11,76	0,50	53,54
52j	15,90	6,27	16,23	0,39	60,57
53j	11,45	5,15	10,26	0,50	55,02
54j	15,16	6,38	16,09	0,40	57,92
média				0,45	56,76
Corte 90-0 radial - madeira juvenil - árvore 06					
61j	13,66	7,94	15,26	0,52	41,87
62j	15,58	7,55	16,86	0,45	51,54
63j	13,35	7,64	16,51	0,46	42,77
64j	15,21	6,91	16,88	0,41	54,57
média				0,46	47,69
Média geral para madeira juvenil -90-0				Db (g/cm3)=	0,42
				Uu(%) =	54,6

Valores de densidade básica da madeira de <i>Pinus Taeda</i> Corte 90-0 radial - madeira adulta - árvore 01					
cp	massa úmida (g)	massa anidra (g)	volume verde (cm3)	Densidade (g/cm3)	umidade (%)
11a	16,69	8,2	16,16	0,51	50,87
12a	15,39	7,26	15,18	0,48	52,83
13a	15,02	7,27	15,23	0,48	51,60
14a	15,15	7,54	16,51	0,46	50,23
média				0,48	51,38
Corte 90-0 radial - madeira adulta - árvore 02					
21a	15,38	7,98	16,16	0,49	48,11
22a	18,27	8,09	18,34	0,44	55,72
23a	18,27	8,30	17,10	0,49	54,57
24a	7,68	3,71	7,38	0,50	51,69
média				0,48	52,52
Corte 90-0 radial - madeira adulta - árvore 03					
31a	18,38	10,80	17,62	0,61	41,24
32a	11,10	6,43	11,28	0,57	42,07
33a	16,15	8,85	16,90	0,52	45,20
34a	16,21	9,06	17,09	0,53	44,11
média				0,56	43,16
Corte 90-0 radial - madeira adulta - árvore 04					
41a	18,61	10,17	17,51	0,58	45,35
42a	17,04	9,15	18,11	0,51	46,30
43a	16,89	8,79	16,38	0,54	47,96
44a	16,82	8,80	17,59	0,50	47,68
média				0,53	46,82
Corte 90-0 radial - madeira adulta - árvore 05					
51a	17,15	8,92	16,87	0,53	47,99
52a	18,84	8,9	16,84	0,53	52,76
53a	15,9	7,66	16,23	0,47	51,82
54a	16,17	7,6	16,52	0,46	53,00
média				0,50	51,39
Corte 90-0 radial - madeira adulta - árvore 06					
61a	14,89	6,68	16,92	0,39	55,14
62a	15,24	6,87	16,52	0,42	54,92
63a	16,32	6,67	16,16	0,41	59,13
64a	13,11	6,44	15,56	0,41	50,88
média				0,41	55,02
Média geral para madeira adulta -90-0				Db (g/cm3)=	0,49
				Uu(%) =	50,0

Tabela 5.21. Valores de densidade básica e umidade para os corpos-de-prova do corte 90-90 radial (madeira juvenil e adulta).

Valores de densidade básica da madeira de <i>Pinus Taeda</i> corte 90-90 radial - madeira juvenil - árvore 01						Valores de densidade básica da madeira de <i>Pinus Taeda</i> corte 90-90 radial - madeira adulta - árvore 01					
cp	massa úmida (g)	massa anidra (g)	volume verde (cm3)	Densidade (g/cm3)	umidade (%)	cp	massa úmida (g)	massa anidra (g)	volume verde (cm3)	Densidade (g/cm3)	umidade (%)
11j	12,31	6,19	15,93	0,39	49,72	11a	17,44	8,30	16,88	0,49	52,41
12j	15,66	6,98	15,66	0,45	55,43	12a	18,56	8,50	16,94	0,50	54,20
13j	14,88	6,39	15,85	0,40	57,06	13a	14,59	6,78	14,00	0,48	53,53
14j	14,00	6,25	14,70	0,43	55,36	14a	16,20	7,54	15,64	0,48	53,46
média				0,42	54,39	média				0,49	53,40
Corte 90-90 radial - madeira Juvenil - árvore 02						Corte 90-90 radial - madeira adulta - árvore 02					
21j	15,22	6,33	16,07	0,39	58,41	21a	18,29	8,06	17,47	0,46	55,93
22j	17,2	6,9	17,42	0,40	59,88	22a	13,30	7,57	17,02	0,44	43,08
23j	17	7,41	17,29	0,43	56,41	23a	16,04	7,66	16,96	0,45	52,24
24j	16,46	8,17	17,64	0,46	50,36	24a	15,38	7,27	16,62	0,44	52,73
média				0,42	56,27	média				0,45	51,00
Corte 90-90 radial - madeira Juvenil - árvore 03						Corte 90-90 radial - madeira adulta - árvore 03					
31j	13,02	6,14	14,99	0,41	52,84	31a	14,87	7,98	15,62	0,51	46,33
32j	13,19	6,46	14,37	0,45	51,02	32a	15,50	7,79	15,55	0,50	49,74
33j	11,98	6,16	14,58	0,42	48,58	33a	14,22	7,17	14,49	0,49	49,58
34j	12,82	6,37	14,59	0,44	50,31	34a	12,84	6,92	15,60	0,44	46,11
média				0,43	50,69	média				0,49	47,94
Corte 90-90 radial - madeira Juvenil - árvore 04						Corte 90-90 radial - madeira adulta - árvore 04					
41j	15,08	7,64	16,10	0,47	49,34	41a	17,61	8,95	17,85	0,50	49,18
42j	15,21	7,65	17,67	0,43	49,70	42a	17,55	9,15	18,73	0,49	47,86
43j	14,67	8,12	17,95	0,45	44,65	43a	17,66	9,59	18,61	0,52	45,70
44j	15,92	7,73	17,95	0,43	51,44	44a	16,76	7,92	17,43	0,45	52,74
média				0,45	48,78	média				0,49	48,87
Corte 90-90 radial - madeira Juvenil - árvore 05						Corte 90-90 radial - madeira adulta - árvore 05					
51j	15,99	9,39	21,65	0,43	41,28	51a	17,50	9,58	19,88	0,48	45,26
52j	18,29	8,63	21,70	0,40	52,82	52a	20,72	9,24	20,88	0,44	55,41
53j	17,46	8,71	21,16	0,41	50,11	53a	17,73	9,72	21,28	0,46	45,18
54j	17,27	8,29	19,85	0,42	52,00	54a	19,03	9,14	21,13	0,43	51,97
média				0,42	49,05	média				0,45	49,45
Corte 90-90 radial - madeira Juvenil - árvore 06						Corte 90-90 radial - madeira adulta - árvore 06					
61j	9,40	4,12	11,96	0,34	56,17	61a	11,40	5,52	12,00	0,46	51,58
62j	9,85	4,46	11,84	0,38	54,72	62a	11,88	5,47	11,70	0,47	53,96
63j	10,29	4,86	11,52	0,42	52,77	63a	11,14	5,17	12,18	0,42	53,59
64j	9,88	4,73	11,32	0,42	52,13	64a	10,98	5,18	11,96	0,43	52,82
média				0,39	53,95	média				0,45	52,99
Média geral para mad. juvenil -90-90				Db (g/cm3)=	0,42	Média geral para madeira adulta -90-90				Db (g/cm3)=	0,47
				Uu(%) =	52,2					Uu(%) =	50,6

5.7 Parâmetros de corte relacionados às classes de resistência da NBR 7190/97

As tabelas de 5.22 e 5.23 apresentam os resultados de força de corte paralela média e da pressão específica de corte (K_{S1}), relacionados às classes de resistência da NBR 7190/97, para a espécie de *Pinus taeda* estudada neste trabalho, para as espécies de eucalipto, cujas forças de corte foram determinadas por NÉRI (1998) e para as espécies *Pinus elliottii* e Pinho-do-paraná, estudadas por GONÇALVES (1993).

Tabela 5.22. Parâmetros de corte e classes de resistência segundo a NBR 7190/97 para espécies de pinus e pinho.

CONIFERAS		Condição de umidade dos corpos-de-prova das espécies: Saturada							
Corte 90-0	(γ)	D. básica (g/c³)	D (12%) (g/c³)	*E _{c0} (MPa)	Classes (NBR-7190)	Pressão esp. (K _{S1})	1-z	R ²	Força paralela média (N/mm)
<i>Pinus taeda</i> juvenil	10°	0,42	-	8418	C ₂₀	6,41	0,68	1,00	26,52
	20°					4,50	0,52	1,00	20,13
	30°					3,56	0,47	1,00	16,68
<i>Pinus taeda</i> juvenil	10°	0,49	-	13376	C ₂₅	8,60	0,72	1,00	34,88
	20°					6,68	0,61	1,00	27,91
	30°					4,87	0,52	1,00	21,76
<i>Pinus elliottii</i> (Gonçalves 1993)	10°	-	0,32	-	**C ₂₀	4,06	0,77	0,85	19,72
	17°					4,04	0,82	0,48	19,05
	24°					3,57	0,75	0,71	17,67
Pinho-do-paraná (Gonçalves 1993)	10°	-	0,55	-	**C ₂₅	4,75	0,71	0,96	24,16
	17°					5,19	0,82	0,75	23,95
	24°					4,18	0,75	0,96	20,50
Corte 90-90									
<i>Pinus taeda</i> juvenil	20°	0,42	-	8418	C ₂₀	19,71	0,67	0,99	40,47
	30°					15,56	0,65	0,99	34,42
	40°					11,47	0,74	0,99	25,45
<i>Pinus taeda</i> adulto	20°	0,47	-	13376	C ₂₅	21,35	0,66	0,97	46,39
	30°					18,42	0,64	1,00	40,00
	40°					12,03	0,72	0,99	25,76

Tabela 5.23. Parâmetros de corte e classes de resistência segundo a NBR 7190/97 para espécies de eucalipto (dicotiledôneas).

EUCALIPTO		Condição de umidade dos corpos-de-prova das espécies: Saturada											
						Direção de corte tangencial				Direção de corte radial			
Corte 90-0	(γ)	D. básica (g/c ³)	D (12%) (g/c ³)	E _{c0} (MPa)	Classes (NBR-7190)	Pressão esp. (K _{S1})-tang.	1-z	R ²	Força paralela média (N/mm)	Pressão esp. (K _{S1})	1-Z	R ²	Força paralela média (N/mm)
Grandis	10°	0,41	-	-	**C ₂₀	3,04	0,82	0,96	28,70	3,51	0,88	1,00	33,18
	20°					2,60	0,86	0,99	24,53	2,82	0,89	0,93	26,68
	30°					1,53	0,49	0,95	14,53	2,07	0,85	0,94	19,53
Saligna	10°	0,56	-	-	**C ₃₀	4,48	0,85	0,97	42,33	4,70	0,91	0,99	44,48
	20°					3,41	0,76	0,81	32,13	3,84	0,84	0,91	36,18
	30°					2,12	0,49	0,98	20,05	1,66	0,09	0,91	16,50
Citriodora	10°	0,91	-	-	**C ₆₀	5,90	0,88	0,99	55,75	6,94	0,84	0,99	65,50
	20°					4,65	0,79	0,90	43,83	3,31	0,30	0,97	31,85
	30°					2,69	0,49	0,98	25,50	1,82	0,38	0,99	17,35
Grandis (Gonçalves 1993)	10°	-	0,86	-	**C ₆₀	-	-	-	-	6,12	0,85	0,70	27,77
	17°					-	-	-	-	5,72	0,77	0,80	27,69
	24°					-	-	-	-	6,00	0,94	0,11	25,79
Corte 90-90													
Grandis	20°	0,41	-	-	**C ₂₀	4,74	0,90	0,85	44,85	5,06	0,93	0,76	47,98
	30°					3,98	0,84	0,91	37,63	3,85	0,87	1,00	36,33
	40°					3,27	0,77	0,95	30,90	3,19	0,87	0,96	30,20
Saligna	20°	0,56	-	-	**C ₃₀	7,22	0,97	0,68	68,80	8,02	0,98	0,82	76,13
	30°					5,49	0,95	0,54	51,93	6,42	0,95	0,25	61,10
	40°					4,33	0,94	0,16	41,30	5,20	0,93	0,71	49,15
Citriodora	20°	0,91	-	-	**C ₆₀	13,56	0,98	0,12	128,35	13,22	0,84	0,86	124,60
	30°					10,28	0,98	0,28	97,73	10,53	0,95	0,76	99,88
	40°					8,13	0,99	0,03	77,15	9,07	0,92	0,99	85,83

*Dados experimentais, obtidos com a madeira de *Pinus taeda* utilizada nesta pesquisa.

**Utilizando a densidade como parâmetro de definição da classe de resistência.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Metodologia de determinação das forças de corte

A metodologia proposta por NERI (1998), e empregada neste trabalho, foi modificada para o caso do corte 90-90, somente com o objetivo de agilizar os ensaios, ou seja, visando efetuar, em uma só passada, o corte de vários corpos-de-prova. Para isso mudou-se a posição da ferramenta de corte e dos corpos-de-prova em relação ao dinamômetro e o cabeçote da fresadora. A aplicação desta metodologia pôde ser validada comparando-se os resultados médios de forças de corte obtidos nesse trabalho com os resultados médios de forças de corte obtidos por outros autores, em condições aproximadas de corte e em espécies com características semelhantes ao *Pinus taeda*.

WOODSON e KOCH (1970) determinaram as forças de corte para madeira de lenho inicial (primaveril) e lenho tardio (de verão) de *Pinus taeda*, nas situações de corte 90-0 e 90-90, direção radial e madeira saturada. Considerando todos os ângulos, espessuras de corte e lenho inicial e final, o valor da força de corte paralela média foi de 22,3 N/mm, para o corte 90-0 e 34,7 N/mm, para o corte 90-90. Para o *Pinus taeda* ensaiado neste trabalho, considerando todos os ângulos, espessuras e madeira de zona juvenil e adulta, a força de corte paralela média foi 24,63 N/mm para o corte 90-0 e 35,42 N/mm para o corte 90-90 (Tabela 5.11).

NÉRI (1998) determinou as forças de corte para três espécies de eucalipto (*grandis*, *saligna* e *citriodora*). No corte 90-0, para a espécie *grandis*, cuja densidade é próxima à da espécie estudada nesse trabalho, a força de corte paralela média, para o ângulo 10°, em todas as espessuras, foi de 33,2 N/mm. Para o *Pinus taeda* ensaiado neste trabalho, a força de corte paralela média, para o mesmo ângulo, tipo de corte e considerando todas as espessuras, foi 35,8 N/mm (Tabela 5.13).

GONÇALVES apud TIBÚRCIO (2000), determinou a força de corte para a espécie *Pinus elliottii*, no corte 90-0 e ângulo de saída (γ) de 10°. Para as espessuras de corte de 0,2 mm; 0,4 mm e 0,6 mm, a força de corte paralela média foi em média de 27,42 N/mm. Para a espécie *Pinus taeda* estudada neste trabalho, para o ângulo (γ) de 10°, considerando as mesmas espessuras o valor médio da força de corte paralela média foi de 23,23 N/mm (Tabela 5.13).

TORO et al. (2002) determinaram as forças de corte para o *Pinus radiata*, e encontraram, para o corte 90-0 direção radial, considerando todas as espessuras de corte, o valor médio para a força paralela média de 41,38 N/mm, para o ângulo de 20° e 27,88 N/mm para o ângulo de 30°.

Neste trabalho, o valor médio da força paralela média, obtido para o *Pinus taeda*, foi de 24,01 N/mm para o ângulo de 20°, e 19,22 N/mm para o ângulo de 30° (Tabela 5.13).

Observa-se que os valores de forças de corte paralela média, obtidos para o *Pinus taeda* nesse trabalho foram bem próximos daqueles obtidos pelos autores WOODSON e KOCH (1970) e NERI (1998), pouco diferente das forças de corte paralela média obtida por GONÇALVES apud TIBÚRCIO (2000), para o *Pinus elliotti*, e muito diferentes dos resultados obtidos por TORO et al. (2002). As diferenças discrepantes, provavelmente, sejam devido às diferenças de densidades e condições de ensaio (saturada e seca ao ar) entre as espécies em questão.

Considerando as comparações das forças de corte feitas anteriormente, pode-se concluir que a metodologia proposta por NÉRI (1998) foi adequada, também, para determinação das forças de corte na madeira do *Pinus taeda* deste trabalho, uma vez que os resultados obtidos foram de mesma ordem de grandeza.

6. 2 Relação das forças de corte com os parâmetros de corte estudados

Para a discussão dos resultados de forças de corte (Tabelas de 01 a 08 do anexo), serão tomados como referência os valores médios das forças de corte paralela média e força de corte normal média, nos cortes 90-0 e 90-90, para as zonas de madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*. Os valores médios das forças paralela e normal são os menos afetados pelas heterogeneidades e defeitos presentes na madeira, sendo, portanto, mais representativos na discussão dos parâmetros de ensaio. Além disso, as forças mínimas e máximas, por serem

valores extremos (de picos), não são bons parâmetros para a compreensão geral do comportamento do ensaio.

A força normal média, por exemplo, está associada à formação do cavaco, o qual, por vez, define a qualidade do corte. Essa força tem, também, grande importância na geometria da ferramenta de corte.

Por outro lado, para o cálculo da potência do motor de máquinas de processamento de madeira, a força paralela máxima é o parâmetro fundamental.

Por apresentarem comportamentos distintos, as situações de corte 90-0 e 90-90 serão analisadas separadamente.

6.2.1 Corte ortogonal 90-0

As máquinas para operações de aplainamento (desengrosso ou plainas), laminação e fresamento, trabalham em condições bem próximas de um corte ortogonal 90-0. A característica principal neste tipo de corte é a formação de cavacos, os quais definem o grau de acabamento da superfície de corte. As referências bibliográficas, apresentadas e discutidas no Capítulo 3, indicam que, quando a força normal é próxima de zero se propicia a formação do cavaco tipo II, o qual coincide com o melhor grau de acabamento. Neste caso, a energia necessária para o corte não é tão importante quanto determinar as condições de corte ideais para a formação do cavaco tipo II.

Durante os ensaios de corte 90-0 com a espécie de *Pinus taeda*, para os três ângulos de saída estudados, 10°, 20° e 30°, a formação do cavaco do tipo II predominou em todas as espessuras de corte adotadas, com casos esporádicos de formação de cavaco tipos I e III, tanto para madeira juvenil quanto adulta. Para estas mesmas condições de corte, os resultados obtidos por NERI (1998), em ensaios com as espécies de eucalipto (*grandis*, *saligna* e *citriodora*), demonstraram que, em média, para todas as espessuras, o cavaco predominante foi do tipo III para o ângulo de 10°, do tipo II para o ângulo de 20° e do tipo I para o ângulo de 30°.

Desta forma, para os ângulos estudados, a espécie de *Pinus taeda* apresenta melhor usinabilidade do que as espécies de eucalipto *grandis*, *saligna* e *citriodora*, ou seja, apresenta maior facilidade para obtenção de peças com melhor acabamento superficial, para os ângulos de saída da ferramenta de corte de 10°, 20°

e 30°.

Força normal

Para as seis árvores de *Pinus taeda* estudadas, os gráficos das figuras de 5.11 a 5.16 demonstram que a força de corte normal foi sempre positiva, para todos os ângulos, em todas as espessuras e para as zonas de madeira juvenil e adulta. Isto indica que o desvio mínimo das fibras de todos os corpos-de-prova, em relação a um plano vertical durante o corte, esteve sempre no sentido ascendente. Nessa situação, em relação ao plano de corte, a faca tende a pressionar ou penetrar no corpo-de-prova, resultando em forças normais positivas. Observa-se, ainda, nesses mesmos gráficos, um decréscimo na inclinação da linha de tendência da forças de corte, com o aumento do ângulo, indicando uma menor influência da espessura de corte nessa força.

Para o ângulo de 10° as forças normais (máxima, média e mínima) tiveram comportamento semelhante, ou seja, aumentaram de forma acentuada e linear, conforme se aumentou a espessura de corte, tanto para madeira juvenil quanto adulta. Para os ângulos de 20° e 30° as forças normais (máxima, média e mínima) tiveram comportamentos distintos. Para 20°, a força normal máxima apresentou pouca variação com o aumento da espessura, na madeira juvenil (Figura 5.11) e aumentou com o aumento da espessura de corte, embora de maneira menos acentuada que para 10°, na madeira adulta (Figura 5.12). A força normal média apresentou pouca variação com o aumento da espessura, tanto na madeira juvenil quanto na adulta, embora tendo comportamento aproximadamente linear na zona de madeira juvenil (Figura 5.13). Este comportamento pode ser explicado pela observação de uma transição na formação do cavaco, no caso da madeira adulta, que passa do tipo II para o tipo I, provocando decréscimo nas forças de corte e interferindo na relação linear, ou seja, provocando a curvatura que se verifica no gráfico. Para 30° o comportamento é semelhante ao obtido para 20° no caso das forças máxima e média, mas, para a força mínima, nota-se uma diminuição acentuada da força normal com a espessura de corte e um comportamento próximo ao linear, tanto para a madeira juvenil quanto para a adulta (Figuras 5.15 e 5.16).

força paralela

Os gráficos das figuras 5.5 a 5.11 demonstram que, tanto para madeira juvenil quanto para a madeira adulta, as forças paralelas máxima, média e mínima apresentaram comportamento linear, para todos os ângulos estudados, sempre aumentando com o

aumento da espessura de corte e com a diminuição do ângulo de saída. Observa-se, também, o mesmo decréscimo na inclinação das linhas de tendência citado no item anterior para a força normal.

Considerando todas as espessuras de corte e ângulos estudados, a força paralela máxima (35,87 N/mm) para madeira adulta foi, em média, 27,6% maior que a força paralela média (28,11 N/mm). Para madeira juvenil, a força paralela máxima (26,66 N/mm) foi, em média, 27,4% maior que a força paralela média (20,66 N/mm).

Considerando-se separadamente os ângulos, para todas as espessuras, a força paralela máxima foi em média 23,4% maior do que a força paralela média para o ângulo de 10°, na zona de madeira adulta e 23,9% na zona de madeira juvenil; 30,2% maior que a força paralela média para o ângulo de 20° na zona de madeira adulta e 26,6% na zona de madeira juvenil e 31,0% maior que a força paralela média para o ângulo de 30° na zona de madeira adulta e 34% na zona de madeira juvenil.

Observa-se, por estes resultados, que quando se aumentou o ângulo de saída, aumentou-se, também, a diferença entre as forças paralela máxima e média para madeira juvenil e adulta. O crescimento desta relação se deve aos esporádicos casos de transição de cavaco. Cavacos do tipo I geram forças de corte com ocorrência de picos elevados (Figura 3.9), cavacos do tipo II geram forças de corte com ocorrência de picos intermediários (Figura 3.20) e cavacos do tipo III geram forças de corte com ocorrência de picos menores (Figura 3.13).

Comparando as relações entre a força paralela máxima e média obtidas para o *Pinus taeda* com aquelas obtidas por NERI (1998), para as espécies de eucalipto (*grandis*, *saligna* e *citriodora*), observa-se que o eucalipto apresentou variação muito maior entre essas forças, principalmente para o ângulo de 30°, para o qual esta variação atingiu de 50 a 90%.

Provavelmente a maior variação na relação das forças, e no tipo dos cavacos, para o eucalipto, seja devida à formação da sua estrutura anatômica. Algumas espécies de eucalipto, por exemplo, além da maior heterogeneidade da madeira, comparada ao pinus, podem apresentar anomalias como fibras reversas e não alinhadas em numa determinada região, o que contribui para variação na formação do cavaco.

6.2.2 Corte ortogonal 90-90

As serras de fita e as respigadeiras são exemplos de máquinas de processamento de madeira que trabalham na situação de corte 90-90.

O corte ortogonal 90-90 é caracterizado por apresentar “cavacos” uniformes denominados de falhas do tipo I e II e forças de corte paralelas elevadas em relação ao corte 90-0. Na falha do tipo I a superfície de corte é menos afetada do que na falha do tipo II.

O acabamento da superfície de corte, no corte 90-90, não é tão importante como no caso do corte 90-0. Por outro lado, a magnitude da força paralela e a configuração da ferramenta de corte são, nesse caso, de extrema importância.

força normal

Para a madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*, a força normal média diminuiu com o aumento da espessura de corte e com o aumento do ângulo, passando de positiva a negativa entre os ângulos de 30° e 40°. Esta observação é importante para estimar o ângulo de saída ideal para a formação da falha do tipo I, à qual se atribui melhor superfície de corte e na qual as fendas geradas na peça de trabalho são reduzidas.

Segundo WOODSON (1979), as forças normais médias no corte 90-90 devem ser positivas para madeiras com densidades básicas inferiores a 0,50 g/cm³ e negativas para madeiras com densidades básicas superiores a 0,50 g/cm³.

As densidades básicas médias, calculadas para a madeira de zona juvenil e adulta do *Pinus taeda* estudado neste trabalho foram 0,42 g/cm³ e 0,47g/cm³, respectivamente (Tabela 5.21).

Para as zonas de madeira juvenil e adulta, a força normal média foi sempre positiva para os ângulos de 20° e 30° e negativas para o ângulo de 40° (Figuras 5.25 e 5.26). NÉRI (1998) questionou a afirmação de WOODSON (1979), mencionando que talvez, não se possa definir, com exatidão, o limite de densidade de 0,50 g/cm³ para a mudança de sinal da força normal. Nesse trabalho esse questionamento, foi, mais uma vez, ratificado, uma vez que, embora a densidade do *Pinus taeda* estudado esteja bem próxima deste limite, as forças normais foram negativas para o ângulo de 40°.

força paralela

A força paralela média apresentou comportamento semelhante nas zonas de madeira juvenil e adulta, aumentando com o aumento da espessura de corte e diminuindo com o aumento do ângulo de saída. Observa-se, pelas Figuras 5.19 e 5.20, que as relações da força paralela média com a espessura e ângulos de saída têm comportamento linear, tanto na zona de madeira juvenil como na de madeira adulta. Observa-se, ainda, nestas figuras, o mesmo efeito do aumento da espessura de corte, ocorrido para o corte 90-0, nos quais à medida que se aumenta o ângulo de saída, se diminui a inclinação da curva, indicando haver menor influência da espessura de corte.

Segundo a literatura, no corte ortogonal 90-90, se os cavacos forem uniformes, a relação entre a força paralela máxima e a força paralela média será aproximadamente constante para todas as espessuras e ângulos de saída.

As relações das forças paralelas máximas e médias obtidas neste trabalho confirmam esta expectativa. Para a madeira de zona adulta, considerando todas as espessuras, a força paralela máxima foi, em média, 59% maior do que a força paralela média para o ângulo de 20°, 60% para o ângulo de 30° e 62% para o ângulo de 40°. Para a madeira de zona juvenil, considerando todas as espessuras, a força paralela máxima foi, em média, 67% maior do que a força paralela média para o ângulo de 20°, 70% para o ângulo de 30° e 74% para o ângulo de 40°.

As relações entre as forças máximas e médias no corte 90-90 foram muito maiores do que no corte 90-0, no qual atingiu, no máximo, 34%.

WOODSON (1979) obteve, em média, um valor máximo de 23% para essas relações, considerando 22 espécies de dicotiledôneas pesquisadas no corte 90-90. NERI (1998) obteve um valor máximo de 170% para essas relações no corte 90-0 (eucalipto saligna) e de 26% quando no corte 90-90 (eucalipto grandis).

Para as espécies estudadas pelos autores mencionados (dicotiledôneas), as relações entre a força paralela máxima e média foram superiores no corte 90-0. Esse resultado é, provavelmente, decorrente da formação do cavaco tipo I no corte 90-0. Nesse trabalho, as relações foram superiores para o corte 90-90. Uma provável explicação para esse resultado pode ser a diferença de densidade entre os anéis de crescimento na madeira de pinus. Nos

corpos-de-prova do corte 90-0, a ferramenta de corte atinge uma região da madeira com menor variação entre os anéis primaveris e de verão, enquanto que nos corpos-de-prova 90-90 a ferramenta passa por regiões de maior variação. Na região de madeira juvenil, por exemplo, onde estas relações foram ainda maiores, a menor densidade, a porosidade e a maior largura dos anéis de lenho inicial (primaveril), fazem com que a força de corte seja bem inferior àquela obtida nos anéis do lenho de tardio, os quais são menos espessos porém mais densos e menos poroso.

6.3 Análise estatística das forças de corte

A análise exploratória dos dados permite que se visualize o comportamento das forças de corte para as seis árvores de *Pinus taeda*. A análise visual, por meio de gráficos “Box Plot” é importante, pois permite identificar pontos destoantes do conjunto de dados (“outliers”) e verificar a distribuição e dispersão dos dados em relação à mediana, facilitando a análise estatística descritiva e auxiliando no planejamento das análises posteriores necessárias.

6.3.1 Comparação das forças de corte entre as seis árvores estudadas

O gráfico “Box Plot” (Figura 5.1) permite observar, pela mediana e dispersão dos dados, que as forças de corte normal e paralela têm comportamento semelhante nas seis árvores, para o corte 90-0 e 90-90. Para o corte 90-0 é possível verificar, pela mediana dos valores de força de corte, que as árvores 4 e 5 apresentam um comportamento diferente das demais. Essa avaliação visual pode ser confirmada na Tabela 5.1, pelos valores médios das forças de corte normal e paralela para as seis árvores, onde as árvores 4 e 5 são aquelas que apresentam as médias extremas.

A hipótese do teste foi a de não existência de diferença significativa entre a média das forças de corte nas seis árvores, considerando que todas as árvores eram de mesma procedência, ou seja, foram obtidas em horto florestal, com cultivo em mesmas condições de solo e clima, além de apresentarem a mesma idade.

O teste de “t” (Tabela 5.3) de comparação entre as médias das forças normal e paralela das árvores 4 e 5 (Tabela 5.2) foi significativo (valor de significância “sig. 2-tailed” < 0,05), ou seja, rejeitou-se a hipótese de que as médias fossem estatisticamente

iguais nas árvores 4 e 5, considerando-se a força normal e paralela no corte 90-0. Para o corte 90-90 esse mesmo teste não foi significativo para as forças normal e paralela (Tabela 5.3), indicando a aceitação da hipótese.

Sendo as médias das forças de corte das árvores 4 e 5 médias extremas, e não existindo diferenças significativas entre elas no corte 90-90, pode-se concluir, para este tipo de corte, que todas as árvores apresentaram comportamento estatisticamente igual em relação às forças de corte. Para o corte 90-0 não foi possível concluir-se pela igualdade das árvores, indicando que, nesse corte, pequenas heterogeneidades afetam as forças de maneira mais significativa.

Os resultados do teste de comparação das médias das forças de corte para as árvores 3 e 5 (Tabela 5.5) mostraram-se significativos para o corte 90-0, o que permite concluir que essas árvores apresentaram comportamento distinto em relação às forças de corte normal e paralela no corte 90-0.

Pela Tabela 5.1 observa-se que as médias das forças de corte normal e paralela das árvores 1 e 3 são médias extremas dentre as árvores 1; 2; 3; e 6. Pelo resultado não significativo do teste de comparação entre as médias das forças de corte normal e paralela para as árvores 01 e 03 (Tabela 5.7), pode-se concluir que as médias de forças para as quatro árvores (1; 2; 3 e 6) são estatisticamente iguais.

6.3.2 Comparação das forças de corte nas diferentes alturas do tronco

Por meio do gráfico “Box Plot” (Figura 5.2) observa-se que a mediana e a dispersão dos dados de forças de corte são semelhantes em todas as posições estabelecidas ao longo da altura do tronco, para os cortes 90-0 e 90-90. A mesma observação pode ser feita por meio dos valores da tabela 5.8.

A hipótese estabelecida para a análise das forças de corte nesta situação, foi a de que estas forças decrescessem no sentido da base ao ápice do tronco, tendo em vista a idade de formação da madeira neste mesmo sentido.

Os resultados da análise estatística do teste de “t” (Tabela 5.10) para comparação de médias entre as posições 1 e 4, para as seis árvores, mostraram-se não significativos. Sendo assim, pode-se concluir que as forças médias normal e paralela nos cortes 90-0 e 90-90, não diferem entre si estatisticamente nas quatro diferentes alturas estudadas. Esse resultado,

provavelmente tenha sido devido à idade das árvores (37 anos), uma vez que, nesse caso, todas as posições estudadas teriam propriedades semelhantes.

6.3.3 Comparação das forças de corte na madeira juvenil e adulta

Por meio do gráfico “Box Plot”(Figura 5.3), observa-se, pela mediana e dispersão dos dados, que as forças de corte paralela e normal nas zonas de madeira juvenil e adulta apresentam comportamentos diferentes. A mesma observação pode ser feita por meio dos resultados apresentados na Tabela 5.10, na qual verifica-se, claramente, que médias das forças de corte paralela e normal são maiores para a madeira de zona adulta.

O teste de “t” de comparação das forças de corte médias na madeira juvenil e adulta (Tabela 5.12), considerando todas as espessuras de corte e ângulos de saída, foi significativo para as forças normal e paralela, nos cortes 90-0 e 90-90, concluindo-se que as forças de corte paralela e normal na madeira proveniente de zona juvenil e adulta são estatisticamente diferentes.

A força paralela máxima foi em média 33,4% maior na madeira de zona adulta no corte 90-0, e 12% maior no corte 90-90.

6.3.4 Comparação das forças de corte na madeira juvenil e adulta em função dos parâmetros espessura de corte e ângulo de saída.

A Tabela 5.14 apresenta os resultados dos testes de comparação de médias de forças de corte para verificação da hipótese de variação das mesmas em função dos parâmetros espessura de corte e ângulo de saída. Os resultados dessa tabela indica que, para todas as espessuras e ângulos, no corte 90-0, o teste de comparação de médias das forças paralelas foi significativo, ou seja, confirma-se a hipótese de que a força paralela varia nas regiões de madeira juvenil e adulta, com os parâmetros tipo de corte, espessura e ângulo.

No caso da força normal, considerando-se os ângulos 10° e 20°, na espessura de corte 0,2 mm, o teste de comparação de médias não foi significativo. O mesmo resultado foi obtido para o ângulo de 30° em todas as espessuras de corte, indicando que, nesses casos, as forças normais obtidas nas regiões de madeira juvenil e adulta foram iguais.

Para o corte 90-90, em todas as espessuras de corte e ângulos, os testes de comparação das médias para a força normal não foram significativos, ou seja, estas forças

são estatisticamente iguais na madeira proveniente de zona adulta e juvenil. Para a força paralela, na maioria das espessuras e ângulos, o teste de comparação de médias também não foi significativo. Somente para os ângulos 20° e 30°, na espessura 1,0 mm o teste de comparação de médias foi significativo.

Observa-se para o corte 90-90 que, quando se analisou separadamente a espessura e o ângulo, os resultados do teste de comparação das médias de forças normal e paralela nas zonas de madeira juvenil e adulta em geral não foram significativos, mas analisando as forças para as espessuras e os ângulos juntos, estes resultados foram significativos.

6.3.5 Comparação da densidade básica obtida para a madeira de zonas juvenil e adulta

A densidade básica da madeira é um parâmetro que está diretamente relacionado à resistência ao corte. As forças de corte são maiores à medida que a densidade da madeira aumenta.

A densidade básica média, calculada para os corpos-de-prova de *Pinus taeda*, foi, em média, 17% maior na madeira de zona adulta do que na madeira de zona juvenil para os corpos-de-prova do corte 90-0 e, em média, 12% maior na madeira de zona adulta do que de zona juvenil para os corpos-de-prova do corte 90-90. A diferença que se observa na porcentagem de variação da densidade para a madeira juvenil e adulta, quando se consideram os corpos-de-prova do corte 90-0 e 90-90 se deve, provavelmente, às diferenças de proporção de madeira de zona juvenil e adulta presentes nos corpos-de-prova (Figura 4.11). Os testes de comparação de médias demonstraram que as diferenças entre as densidades, nas madeiras de zona juvenil e adulta, foram significativas para os corpos-de-prova retirados visando os dois tipos de corte (Tabela 5.16). Sendo a densidade um dos parâmetros de maior influência nas forças de corte, esses resultados confirmam as diferenças médias significativas encontradas para as forças de corte nas situações 90-0 e 90-90.

6.4 Ângulo de saída ideal relativo (γ)

A Tabela 5.17 apresenta os resultados dos ângulos ideais de saída, calculados por meio da equação de STEWART (1977), para cada espessura de corte, na madeira de zona juvenil e adulta, no cortes 90-0.

Esses resultados permitem concluir que, para pequenas espessuras de corte, o ângulo ideal para formação do cavaco tipo II na madeira de *Pinus taeda* é elevado, da ordem de 40°. À medida que se aumenta a espessura até 1,0mm, este ângulo diminui, se tornando da ordem de 30°.

O ângulo de saída ideal e o coeficiente de atrito foram sempre maiores para a madeira juvenil, o que permite concluir que o ângulo ideal varia com a densidade, ou seja, para maiores densidades o ângulo ideal tende a ser menor.

Considerando as médias das forças de corte normal e paralela, para todas as espessuras de corte, o ângulo ideal foi da ordem de 33° para a madeira juvenil e 32° para madeira adulta.

Os resultados dos cálculos dos ângulos ideais obtidos por SANTOS (1999), para as espécies de eucalipto na direção radial, confirmam os resultados da variação do ângulo ideal com a densidade observados para o *Pinus taeda* neste trabalho. Para a espécie *E. grandis*, de menor densidade, o ângulo ideal considerando todas as espessuras de corte foi 33°; para a espécie *E. saligna*, com densidade intermediária, o ângulo ideal foi de 26° e para a espécie *E. citriodora*, de maior densidade, o ângulo ideal foi de 22°. Observa-se, ainda, nestes resultados, que o ângulo de saída ideal foi exatamente o mesmo (33°) para as espécies *E. grandis* e *Pinus taeda*, cujas densidades são, também, muito próximas.

6.5 Pressão específica de corte

A determinação da pressão específica de corte para a espécie de eucalipto e *Pinus taeda* é de grande importância, tendo em vista que, por meio dela podem ser obtidos os valores das forças de corte paralela, para uma determinada taxa de remoção do cavaco, utilizando a equação proposta por “KIENZLE”. Uma vez determinada a pressão específica, a determinação analítica da força de corte é muito mais simples do que a determinação desta por procedimentos experimentais de aquisição de dados.

Segundo a literatura, a pressão específica de corte na madeira varia com os principais parâmetros de corte aqui estudados, ou seja, tipo de corte, ângulo de saída, densidade e espessura de corte.

Como se pode observar na Tabela 5.18, para as espécies de eucalipto (*grandis*, *saligna* e *citriodora*), nas duas situações de corte 90-0 (tangencial e radial), os valores da

pressão específica “ K_{S1} ” decrescem com o aumento do ângulo de saída (γ). Em geral os valores de K_{S1} foram maiores na direção radial do que na direção tangencial. Para a espécie *grandis* os resultados confirmam essa tendência, sendo os valores de K_{S1} maiores em todos os ângulos de saída na direção radial. Para a espécie *saligna* os valores de K_{S1} foram maiores na direção radial somente para os ângulos de saída 10^0 e 20^0 . Para a espécie *citriodora*, K_{S1} foi maior na direção radial somente para o ângulo de saída de 10^0 . Esses resultados permitem concluir que nem sempre os esforços são maiores na direção radial do que na direção tangencial, ou seja, parecem ser dependentes da espécie e do ângulo de saída da ferramenta (γ). À medida que se aumenta o ângulo de saída, K_{S1} tende a ser menor na direção radial do que na direção tangencial.

Para a situação de corte 90-0, em todos os ângulos e direções estudadas, as relações bilogarítmicas, entre a pressão específica de corte e a espessura de corte ($K_s \times h$), tiveram um valor elevado do coeficiente de determinação (R^2), o que indica um alto grau de correlação entre as variáveis. Neste caso, os valores de K_{S1} e $1-z$ podem ser considerados representativos, podendo ser utilizados para o cálculo da força de corte. No corte 90-90, as relações de $K_s \times h$, não foram elevadas em todas as situações, com valores baixos de coeficiente de determinação (R^2) para a espécie de *E. saligna* na direção tangencial, em todos os ângulos adotados e na direção radial nos ângulos 30^0 e 40^0 e, para a espécie de *E. citriodora* na direção radial em todos os ângulos.

Para o *Pinus taeda* (Tabela 5.19), os resultados encontrados de pressão específica de corte tiveram elevados coeficientes de determinação nos dois tipos de corte, nas duas regiões analisadas (madeira juvenil e adulta) e para todos os ângulos estudados. Os valores de K_{S1} diminuíram com o aumento do ângulo de saída, e foram maiores no corte 90-90 e na madeira de zona adulta.

Os baixos valores do coeficiente de determinação (R^2) encontrados no corte 90-90, para as espécies de eucalipto, podem ser associados ao processo de formação do cavaco durante o corte. Durante o corte 90-90, principalmente nas espécies de maior densidade, o dente ou ferramenta de corte comprime as fibras a serem cortadas e as forças de corte se elevam. O momento da ruptura é, nesse caso, difícil de prever, pois depende das condições pontuais da madeira. Desta forma não se tem um processo contínuo ou cíclico do corte, ou

seja, o comportamento das forças é variável, sendo, portanto difícil predizê-lo por meio da pressão específica de corte.

6.6 Força de corte e pressão específica de corte relacionados às classes de resistências

A análise das forças de corte e da pressão específica, associada às classes de resistência, tem por finalidade a tentativa de agrupar lotes de madeira, com características de resistências mecânicas semelhantes, em uma mesma classe de resistência, de acordo com a NBR7190/97. Este procedimento pode ser muito importante no processamento da madeira, uma vez que permitiria estimar valores de forças de corte e pressão específica de corte para espécies com características semelhantes em termos de resistência mecânica.

Para a espécie de *Pinus taeda*, em ambos cortes 90-0 e 90-90 (Tabela 5.22), observa-se que existe uma tendência de possibilidade de associação das classes de resistência, obtidas utilizando como referência a densidade básica ou o módulo de elasticidade, às força de corte paralela média e pressão específica de corte (Ks1).

Embora as espécies *Pinus elliotti* e Pinho (GONÇALVES, 1993), pelos valores tabelados na NBR7190/97, se enquadrem nas classes C₂₀ e C₂₅ respectivamente, os valores da pressão específica de corte e da força de corte foram inferiores aos valores de mesmas classes de resistência definidas para o *Pinus taeda*, não seguindo assim, a mesma tendência. As diferenças entre os valores de forças paralela média e da pressão específica de corte (Ks1) entre essas espécies(*Pinus taeda*, *Pinus elliotti* e Pinho) provavelmente podem ser atribuídas às condições de ensaio, uma vez que, para o *Pinus elliotti* e o Pinho não se tem informações relativas a idade da árvore, a zona de retirada dos corpos-de-prova dentro do tronco, o tipo de formação do cavaco, etc., além de diferenças metodológicas. Esses aspectos certamente afetam as possibilidades de comparação dos resultados.

Para as espécies de eucalipto grandis, saligna e citriodora, cujas forças de corte foram determinadas por NERI (1998), fica evidenciada a associação dos parâmetros (densidade, força paralela, pressão específica) com as classes de resistência (Tabela 5.23), de maneira semelhante ao que observou para as coníferas.

Para ambos gêneros, eucalipto e pinus, considerando-se as semelhanças metodológicas do ensaio, é possível associar-se as propriedades de corte às classes de

resistência, o que pode permitir que, em trabalhos futuros, se apresente intervalos de forças de corte ou de pressão específica de corte associados às classes de resistência.

Para o corte 90-90 na direção tangencial, embora as forças de corte paralela média e a pressão específica de corte apresentem tendência à associação com as classes de resistência, estimar os valores de força de corte e pressão específica de corte seria menos viável, uma vez que os coeficientes de determinação (R^2) da relação pressão específica (K_s) e espessura de corte (h) foram baixos, indicando não haver correlação entre essas variáveis.

Analizando a associação da força de corte paralela média e da pressão específica às classes de resistência para as coníferas e dicotiledôneas, observa-se que os valores dos parâmetros não seguem uma tendência única, ou seja, é necessário que a avaliação seja realizada de maneira separada, como já ocorre para todas as outras propriedades da madeira. As diferenças entre a estrutura anatômica das coníferas e dicotiledôneas deve ser a responsável por tal comportamento, impossibilitando o agrupamento de madeiras destes gêneros em uma mesma tabela de classificação.

7. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos e as hipóteses delineadas para a pesquisa, e com base na discussão dos resultados, destacam-se as principais conclusões:

- ✓ A metodologia de determinação das forças de corte proposta por NÉRI (1998) foi adequada para a determinação de forças de corte para o *Pinus taeda*.
- ✓ As forças médias de corte normal e paralela para o *Pinus taeda* não diferiram estatisticamente nas quatro posições ao longo da altura do tronco, para as seis árvores estudadas.
- ✓ As forças de corte normal e paralela foram estatisticamente diferentes nas zonas de madeira adulta e juvenil sendo, em média, 33,4% maior na zona de madeira adulta, no corte 90-0 e 12% maior na zona de madeira adulta, no corte 90-90, considerando todas as espessuras e ângulos de saída estudados para a espécie *Pinus taeda*.
- ✓ A densidade básica média para a madeira da zona adulta foi estatisticamente diferente da densidade básica para a madeira de zona juvenil, sendo, em média 14,5% maior na madeira adulta, considerando os corpos-de-prova retirados para os dois tipos de corte.
- ✓ Para pequenas espessuras de corte, próximas de 0,2mm, o ângulo ideal relativo de saída da ferramenta de corte foi da ordem de 40°. À medida que se aumenta a espessura até 1,0mm, este ângulo diminui, se tornando da ordem de 30°.
- ✓ Para as espécies de eucalipto os valores da pressão específica de corte (K_{s1}) foram maiores na direção radial do que na direção tangencial.
- ✓ Os valores da pressão específica de corte (K_{s1}), para o *Pinus taeda*., foram maiores no corte 90-90 e na madeira de zona adulta.

- ✓ De maneira geral, para a madeira de *Pinus taeda*, o cavaco formado durante o corte 90-0 para os ângulos de saída de 10°, 20° e 30° foi o do tipo II.
- ✓ Para o *Pinus taeda*, no corte 90-0, considerando todas as espessuras de corte e ângulos estudados, a força paralela máxima foi, em média, 27,6% maior que a força paralela média para madeira de zona adulta, e 27% para madeira de zona juvenil.
- ✓ Para o *Pinus taeda*, no corte 90-90, na zona de madeira adulta, considerando todas as espessuras, a força paralela máxima foi, em média, 59% maior que a força paralela média para o ângulo de 20°, 60% para o ângulo de 30° e 62% para o ângulo de 40°.
- ✓ Para o *Pinus taeda*, no corte 90-90, na zona de madeira juvenil, considerando todas as espessuras, a força paralela máxima foi, em média, 67% maior que a força paralela média para o ângulo de 20°, 70% para o ângulo de 30° e 74% para o ângulo de 40°.
- ✓ Para o *Pinus taeda*, as relações entre as forças máximas e médias no corte 90-90 foram maiores que no corte 90-0, sendo a diferença máxima de 34%.

Lista de Figuras	Pg
Figura 3.1. Composição do caule em seção transversal (CHIMELO, J.P apud GONÇALVES, M.T.T).....	7
Figura 3.2. Microscopia dos planos de corte da espécie Angelim pedra.....	7
Figura 3.3. Esquema de corte sólido.....	12
Figura 3.4. Esquema de corte plástico.....	13
Figura 3.5. Zonas de compressão das camadas do material (A) e compressão com gumes de ângulos diferentes(B,C).....	14
Figura 3.6. Esquema de corte por tração localizada.....	14
Figura 3.7. Esquema de corte por cunha.....	15
Figura 3.8. Esquema de corte por flexão.....	15
Figura 3.9. Esquema de corte por rasgamento “Tearing”	16
Figura 3.10. Esquema de corte por raspagem.....	17
Figura 3.11. Esquema de corte por fatiamento.....	17
Figura 3.12. Principais tipos de corte ortogonal (HOADLEY, 1980 apud NÉRI,1998).....	18
Figura 3.13. Ângulos de cortes e componentes das Forças (Adaptada de WOODSON e KOCH,1970).....	19
Figura 3.14. Força paralela média no corte 90-0 em função da espessura de corte e do ângulo de saída. Corpo de prova tangencial de E. citriodora (NÉRI,1998).....	22
Figura 3.15. Força normal média no corte 90-90 em função da densidade básica da madeira e da espessura de corte. Corpo de prova tangencial ; $\gamma = 30^\circ$ (NÉRI,1998).....	23
Figura 3.16. Força normal média no corte 90-0 em função da espessura de corte e do ângulo de saída. Corpo de prova tangencial de E. citriodora (NÉRI,1998).....	23
Figura 3.17. Cavaco tipo I obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto grandis, espessura de corte: 1,52 mm e ângulo de saída: $\gamma = 30^\circ$, NÉRI (1998).....	25
Figura 3.18. Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie:Eucalipto Citriodora, espessura de corte: 1.52 mm (0.060 polegadas) e ângulo de saída : $\gamma = 30^\circ$, NÉRI(1998).....	26
Figura 3.19. Cavaco tipo II obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto	

grandis, espessura de corte: 0,38 mm e ângulo de saída: $\gamma = 30^{\circ}$, NÉRI (1998).....	27
Figura 3.20. Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 0.38 mm e ângulo de saída : $\gamma = 20^{\circ}$, NÉRI (1998).....	28
Figura 3.21. Cavaco tipo III obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 1.52 mm e ângulo de saída: $\gamma = 10^{\circ}$ NÉRI (1998).....	29
Figura 3.22. Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 1.52 mm (0.060 polegadas) e ângulo de saída : $\gamma = 10^{\circ}$ NÉRI (1998).....	30
Figura 3.23. Distribuição normal (Teste de t).....	34
Figura 3.24. Variação da pressão específica de corte (K_s) em função da espessura de corte (h), Ferraresi, (1977) apud Tiburcio (2000).....	40
Figura 3.25. Dinamômetro resistivo para medição dos esforços de corte na usinagem da madeira, (GONÇALVES, 1993 apud TIBURCIO, 2000).....	43
Figura 3.26. Esquema de dinamômetro de Anéis Ortogonais - (adaptada de KING e FOSCHI, 1969).....	44
Figura 4.1. Dinamômetro de anéis ortogonais para medida de forças de corte ortogonal.....	47
Figura 4.2. Equipamento de aquisição de dados MGC Plus.....	49
Figura 4.3. Fresadora infresa e local de instalação.....	50
Figura 4.4. Ferramenta de corte do tipo faca.....	51
Figura 4.5. Dentes de corte utilizados no corte ortogonal 90-90.....	51
Figura 4.6. Suporte da ferramenta de corte do tipo faca.....	52
Figura 4.7. Suporte da ferramenta de corte do tipo dente (bedame).....	52
Figura 4.8. Suporte de fixação de porta-ferramenta (bloco).....	53
Figura 4.9. Suporte de fixação de corpos-de-prova 90-0.....	53
Figura 4.10. Suporte de fixação de corpos de prova 90-90 e conjunto (suporte do dente de corte, dinamômetro e bloco).....	54
Figura 4.11. Esquema de retirada dos corpos-de-prova.....	56
Figura 4.12. Demarcação da madeira juvenil, de transição, adulta e localização de para retirada dos corpos-de-prova.....	57

Figura 4.13 Dimensões e orientação dos corpos-de-prova segundo cada direção e tipos de corte.....	58
Figura 4.14 Fresa frontal de perfil utilizada para corrigir a superfície irregular dos corpos-de-prova.....	60
Figura 5.1 . Gráfico “Box Plot” das médias das forças paralela e normal para todas as árvores de <i>Pinus taeda</i>	65
Figura 5.2 . Gráfico “Box Plot” das médias das forças paralela e normal nas 04 diferentes alturas, para todas as árvores de <i>Pinus taeda</i>	69
Figura 5.3. Gráfico “Box Plot” das médias das forças paralela e normal para as madeiras <i>Pinus taeda</i> jovem e adulta.....	71
Figura 5.4 . Gráfico “Box Plot” das médias das densidade básica para as madeira juvenil e adulta de <i>Pinus taeda</i>	79
Figura 5.5 .Relação entre a força de corte paralela máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira juvenil.....	81
Figura 5.6 .Relação entre a força de corte paralela máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira adulta.....	81
Figura 5.7. Relação entre a força de corte paralela média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira juvenil.....	81
Figura 5.8. Relação entre a força de corte paralela média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira adulta.....	81
Figura 5.9. Relação entre a força de corte paralela mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira juvenil.....	81
Figura 5.10. Relação entre a força de corte paralela mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira adulta.....	81
Figura 5.11. Relação entre a força de corte normal máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira juvenil.....	82
Figura 5.12. Relação entre a força de corte normal máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira adulta.....	82
Figura 5.13. Relação entre a força de corte normal média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira juvenil.....	82
Figura 5.14. Relação entre a força de corte normal média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de <i>Pinus taeda</i> . Madeira adulta.....	82
Figura 5.15. Relação entre a força de corte normal mínima, espessura de corte e ângulos de	

saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira juvenil.....	82
Figura 5.16. Relação entre a força de corte normal mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-0 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira adulta.....	82
Figura 5.17. Relação entre a força de corte paralela máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira juvenil.....	83
5.18. Relação entre a força de corte paralela máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira adulta.....	83
Figura 5.19. Relação entre a força de corte paralela média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira juvenil.....	83
Figura 5.20. Relação entre a força de corte paralela média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira adulta.....	83
Figura 5.21. Relação entre a força de corte paralela mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira juvenil.....	83
Figura 5.22. Relação entre a força de corte paralela mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira adulta.....	83
Figura 5.23. Relação entre a força de corte normal máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira juvenil.....	84
Figura 5.24. Relação entre a força de corte normal máxima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira adulta.....	84
Figura 5.25. Relação entre a força de corte normal média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira juvenil.....	84
Figura 5.26. Relação entre a força de corte normal média, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira adulta.....	84
Figura 5.27. Relação entre a força de corte normal mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira juvenile.....	84
Figura 5.28. Relação entre a força de corte normal mínima, espessura de corte e ângulos de saída no corte ortogonal 90-90 radial para a espécie de Pinus taeda. Madeira adulta.....	84

Lista de tabelas

Pg

Tabela 3.1 – Valores da força de corte paralela – F_p (N/mm)* e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de saída (γ). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada (NÉRI,1998).....	31
---	----

Tabela 3.2 – Valores da força de corte paralela – F_p (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de saída (γ). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada . (NÉRI,1998).....	33
Tabela 3.3 . Valores de K_{s1} e 1-Z na direção de corte paralela para dez espécies de madeira (TIBURCIO, 2000).....	42
Tabela 3.4. Valores de K_{s1} e 1-Z obtidos para três espécies de eucalipto (NÉRI, 2002).....	42
Tabela 3.5. Classes de resistências para as coníferas.....	45
Tabela 3.6 Classes de resistências para dicotiledôneas.....	45
Tabela 5.1. Médias das Forças de corte paralela e normal(N/mm) nos tipos de corte 90-0 e 90-90 para as 06 árvores.....	66
Tabela 5.2. Comparação entre as médias de forças de corte (N/mm)extremas (árvores 04 e 05).....	66
Tabela 5.3. Teste de T para igualdade entre as médias de forças de corte das árvores 04 e 05.....	67
Tabela5.4. Comparação entre as médias de força (N/mm) das árvores 03 e 05.....	67
Tabela 5.5. Teste de T para igualdade entre as médias de forças de corte (N/mm) das árvores 03 e 05.....	68
Tabela 5.6.Comparação entre as médias de forças de corte (N/mm)das árvores 01 e 03.....	68
Tabela 5.7. Teste de T para igualdade entre as médias de forças de corte das árvores 01 e 03.....	68
Tabela 5.8. Médias das forças de corte paralela e normal (N/mm)nas quatro diferentes posições das seis árvores.....	70
Tabela 5.9. Comparação entre as médias de forças de corte (N/mm) extremas (posições 01 e 04).....	70
Tabela 5.10. Teste de “T” para igualdade entre as médias das forças de corte nas posições 01 e 04.....	71
Tabela 5.11. Médias de forças de corte (N/mm) na madeira juvenil e adulta.....	72
Tabela 5.12.Teste de “T” para igualdade entre as médias das forças de corte na madeira juvenil e adulta.....	72
Tabela 5.13. Médias das forças de corte paralela e normal (N/mm) na madeira juvenil e adulta.....	73

Tabela 5.14. Teste de “T” para igualdade entre as médias das forças de corte paralela e normal para as madeira juvenil e adulta entre cada tipo de corte, ângulo de saída e espessura de corte.....	76
Tabela 5.15. Médias de densidade (g/cm ³) para madeira juvenil e adulta	80
Tabela 5.16. Teste de “T” para igualdade entre as médias de densidade para madeira juvenil e adulta.....	80
Tabela 5.17. Ângulo ideal de saída (γ) em graus e coeficiente de atrito no corte 90-0 para madeira adulta e juvenil de Pinus taeda.....	85
Tabela 5.18. Pressão específica de corte para a madeira de eucalipto.....	86
Tabela 5.19. Pressão específica de corte para a madeira de Pinus taeda.....	86
Tabela 5.20. Valores de densidade básica e umidade. Corpos-de-prova do corte 90-0 radial (madeira juvenil e adulta).....	87
Tabela 5.21. Valores de densidade básica e umidade para os corpos-de-prova do corte 90-90 radial (madeira juvenil e adulta).....	88
Tabela 5.22. Parâmetros de corte e classes de resistência segundo a NBR 7190/97 para espécies de pinus e pinho.....	89
Tabela 5.23 Parâmetros de corte e classes de resistência segundo a NBR 7190/97 para espécies de eucalipto (dicotiledôneas).....	90

Tabelas anexo I

Tabela a1. Valores de força de corte paralela – Fp (N/mm) em corte ortogonal 90-0, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de Pinus taeda – madeira Juvenil saturada. Formação do cavaco tipo II para os três ângulos estudados.....	121
Tabela a2. Valores de força de corte paralela – Fp (N/mm) em corte ortogonal 90-0, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de Pinus taeda – madeira adulta saturada. Formação do cavaco tipo II para os três ângulos estudados.....	122
Tabela a3. Valores de força de corte normal – Fn (N/mm) em corte ortogonal 90-0, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de Pinus taeda – madeira juvenil saturada. Formação do cavaco tipo II para os três ângulos estudados.....	123
Tabela a4. Valores de força de corte normal – Fn (N/mm) em corte ortogonal 90-0, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de Pinus taeda – madeira adulta saturada. Formação do cavaco tipo II para os três ângulos estudados.....	124

Tabela a5. Valores de força de corte paralela – Fp (N/mm) em corte ortogonal 90-90, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de Pinus taeda – madeira Juvenil saturad.....	125
Tabela a6. Valores de força de corte paralela – Fp (N/mm) em corte ortogonal 90-90, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de Pinus taeda – madeira adulta saturada.....	126
Tabela a7. Valores de força de corte normal – Fn (N/mm) em corte ortogonal 90-9, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de Pinus taeda – madeira juvenil saturada.....	127
Tabela a8. Valores de força de corte normal – Fn (N/mm) em corte ortogonal 90-90, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de Pinus taeda – madeira adulta saturada.....	128

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. N.; **O Eucalipto**. Conferência mundial do Eucalipto, São Paulo/SP, 1961 2 ed. 654p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro (1989) **NBR 6162; Movimentos e relações geométricas na usinagem dos metais**. 37p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. (1990). **NBR 6163; Geometria da cunha de corte**, 45p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997) **Projeto de estruturas de madeira** ABNT (NBR-7190). Rio de Janeiro. 107p.

CASTRO, E. M.; **Estudo da usinabilidade de chapas MDF (Medium density fiberbord) para usinagem de desbaste e acabamento**. Dissertação de Mestrado – USP/Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2000, 122p.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F.C.; COPINNI, N.L. (1999). **Tecnologia da usinagem dos Materiais**. Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas-SP, 242p.

FERRARESI, D. (1977). **Fundamentos da usinagem dos metais**. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo. V1, 751p.

FRANZ, N. C. **An Analysis of the Wood-Cutting Process**. Ph.D. Thesis. Univ. Michigan., Ann Arbor. 152 p. 1958.

GONÇALVES, M. T. T & RUFFINO, R. T. (1993). Mecanismo de formação do cavaco na usinagem da madeira. In: **Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira**, 3, São Carlos – SP. Vol. 2, p. 163 –172.

GONÇALVES, M.T.T. & TEIXEIRA, M. C. (1995). Relacionamento entre a força de corte e alguns parâmetros que interferem em sua grandeza. In: **Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira**, V, Belo Horizonte - MG.vol. 2, p.185-194.

GONÇALVES, M.T.T.; RODRIGUES, R. & TAKAHASCHI, J.S.I.; (1997 b) . Analysis of the specific cutting force in parallel direction to the grain for ten Brazilian wood species. In: **WOOD MACHINING SEMINAR**, 13., Vancouver, v.2, p.489-97.

GONÇALVES, M.T.T. & TAKAHASCHI, J.S.I. (1998). Análise do desempenho de corte das espécies comerciais grubixá e imbuia. In: **Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, VI, Florianópolis**, Anais. vol. 3, p.451-458.

GONÇALVES, M.T.T. (2000). **Processamento da Madeira**. Bauru, SP. 245p.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L., 1989. **Forest Products and Wood Science. An Introduction** - Second Edition, 500p.

HERNANDEZ, R. (1988). **Curso de transformação mecânica da madeira em serraria**. Piracicaba/SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP.

HOADLEY, R.B. Understanding wood, (1980). **A Craftsman's Guide to Wood Technology**. The Taunton Press, 256 p.

IAWA. (1994) **International Association of Wood Anatomists**. Leiden, Netherlands.

KAGEIAMA, P. Y.; CASER, P.L. (1982). Adaptação de espécies de pinus na região na região nordeste do Brasil. Piracicaba: **IPEF – Série técnica**, v.3, nº 10, p.36.

KING, B.; FOSCHI, R.O. (1969). **Crossed-Ring Dynamometer for Direct Force Resolution into three Orthogonal Componentes**. Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 9, p. 345-356 Pergamom Press.

KOCH, P. (1964). **Wood Machining Process**. New York, Ronald Press Company, 530p.

KOCH, P. (1985). **Utilization of Hardwoods Growing on Southern Pines Sites**. Volume II. Processing. USDA Forest Service, Agriculture Handbook, number 605 . Chapter 18, Machining, p. 1687-2281.

KRONKA, F.J.N.; MATSUKUMA, C.K.; NALON, M.A.; DEL CALI, I.H.; ROSSI, M.; MATTOS, I.F.A.; SHIN-IKE, M. S.; PONTINHAS, A.A.S. (1993). **Inventário Florestal**

do Estado de São Paulo. In: 1^o Congresso Florestal Panamericano e 7^o Congresso Florestal Brasileiro, Curitiba/PR, Anais.

LEKHNITSKII, S.G. (1981). **Theory of elasticity of an anisotropic body.** Moscou, Mir, p.10-98.

MALONEY, T.M.(1991). New Technologies in the Wood-Based Composites Sector. In: **Seminar on new technologies and applications en the wood-based panels sector.** Gdansk. Poland. Anais, 20-24 May.

MALONEY, T.M. (1993). **Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard Manufacturing.** Updated Edition. San Francisco: Miller Freeman Inc, . 681p.

McKENZIE, W.M; (1960). **Fundamental Aspects of the Wood Cutting Process.** Forest Products. Journal. 10 (9): 447-456.

NÉRI, A. C. (1998). **Medidas de forças de corte na madeira de eucalipto.** Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas - SP. 152p.

NÉRI, A.C. (2002). **Determinação e análise da pressão específica de corte (ks) pelo método de “kienzle” para três espécies de eucalipto.** XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2002 Salvador – Bahia, 29 de julho a 02 de agosto de 2002.

PALMA, H.A.L; BALLARIN, A. W.; Demarcação e densidade de madeira juvenil e adulta para o *Pinus taeda* L. **Anais:**VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Uberlândia – Julho de 2002.

PERSSON, S., **Mechanics of cutting plant material.** American Society pf Agriculture Engineers, St. Joseph, EUA, 1987, 288p.

PEREIRA, B. A. (1987). **Introdução de coníferas no Brasil: um esboço histórico.** Piracicaba: Esalq – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiróz, 34p (Trabalho de Pós-graduação apresentado à Esalq).

RODRIGUES, R.; GONÇALVES, M.T.T.; & MUSSI, F.; (1998). Estudo de usinabilidade da madeira para operações de desbastes em espécies de reflorestamento. In: **Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira**, VI, Florianópolis, Anais. Santa Catarina, UFSC/EBRAMEM. vol. 3, p.427-436.

SALES, A.; LAHR, F.A.R.; CALIL JR, C. (1998) Metodologia para a obtenção dos sistemas de classes de resistência para a madeira. In: **Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira**, VI, Florianópolis, vol. 1, p.13-21.

SALES, A. (1996). **Proposição de classes de resistência para a madeira**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 223p.

SANTOS, J.C. (1999). **Análise dos esforços desenvolvidos na usinagem de três espécies de madeira de eucalipto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas - SP. 423p.

STEWART, H.A; (1977). **Optimum Rake Angle Related to Selected Properties of Wood**. Forest. Prod. J. 27(1): 51-53.

TAYLOR, F.W. (1975) **Fiber length measurement – an accurate inexpensive technique**. *Tappi*, v. 58, n.12, p.126-127.

TIBURCIO, U. F. O. (2000). **Aplicação do método de “KIENZLE” em experimentos de usinagem da madeira para determinação da pressão específica de corte**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 55p.

TOMASELLI, I. (1998) Planted Forests in Brazil. In: PLANTED FORESTS IN SARAWAK, AN INTERNATIONAL CONFERENCE, Sarawak. *Proceedings...Kuching Forest Department Sarawak*. p.2-35.

TORO, W.M; LARA, C.M.; MAC-CARTE G.V. (2002) **Estimacion y modelamiento estadístico para la fuerza resultante de corte 90-0 em mader de *Pinus radiata* D.DON**. II Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, Curitiba – Paraná.

VALARELLI, I. D. (1999). **Introdução ao estudo da emissão acústica na usinagem da madeira**. Tese de Doutorado – USP/Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 128p.

WOODSON, G. E., KOCH, P. (1970). **Tool forces and chip formation in orthogonal cutting of loblolly pine.** Research Paper SO - 52. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

WOODSON, G.E. (1979). **Tool forces and chip types in orthogonal cutting of southern hardwoods.** Research Paper SO-146, U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

ANEXOS

ANEXO I

RESULTADOS DE MEDIÇÕES DE FORÇAS DE CORTE

Tabela a1. Valores de força de corte paralela – Fp (N/mm) obtidos em corte ortogonal 90-0, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de *Pinus taeda* – madeira juvenil saturada. Formação do cavaco tipo II para os três ângulos estudados.

Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-0 radial - madeira juvenil (γ)10°																									
Fp min.	esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)	Fp (63J)	Fp(64J)
0,20	9,30	10,72	10,75	12,97	7,32	8,15	11,67	8,06	6,79	10,13	9,90	10,87	12,18	12,07	10,02	13,33	10,37	7,62	10,98	8,76	8,36	11,72	12,97	8,83	
0,40	18,97	18,70	18,90	20,17	10,63	11,12	20,07	13,38	11,99	13,60	19,20	20,76	18,65	21,93	14,25	16,49	17,03	10,11	17,79	16,52	15,64	19,49	20,89	12,58	
0,60	26,49	23,45	25,28	22,66	12,86	13,89	30,10	25,06	12,29	17,17	24,06	23,51	21,49	24,96	16,31	21,58	21,48	15,45	23,35	18,29	20,86	24,69	26,52	16,05	
0,80	30,54	24,67	29,59	24,21	15,06	19,53	42,11	28,50	20,17	21,08	25,81	24,43	23,64	28,44	16,08	25,76	24,75	19,87	26,34	17,34	23,58	28,80	29,12	23,92	
1,00	34,13	31,69	32,22	40,65	18,19	20,40	42,99	31,54	28,16	26,02	26,62	26,91	25,98	27,22	18,26	30,80	28,90	24,79	27,54	23,90	26,29	30,82	32,46	31,82	
Fp média	esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)	Fp (63J)	Fp(64J)
0,20	12,76	13,96	13,89	16,51	8,95	10,01	13,84	10,91	9,19	12,57	12,25	18,50	13,83	13,77	13,20	15,11	12,51	9,87	13,24	11,74	12,95	14,23	15,78	11,48	
0,40	23,64	23,15	23,18	25,86	13,55	15,87	24,72	17,16	15,26	17,22	24,40	27,25	21,15	26,49	18,22	19,62	20,65	14,07	21,38	20,65	20,61	23,07	24,82	16,81	
0,60	32,21	29,55	31,23	28,84	16,34	19,36	38,09	33,24	18,52	22,17	30,72	30,07	25,57	30,47	22,54	26,73	27,15	21,13	28,54	24,31	29,24	30,45	31,34	21,51	
0,80	41,66	34,56	38,07	30,82	19,55	26,91	54,50	40,81	27,32	28,29	33,80	33,33	30,05	36,33	25,80	32,25	33,16	28,24	34,21	22,19	32,19	36,77	35,96	29,72	
1,00	47,11	42,27	41,23	50,68	24,67	32,40	56,34	40,99	38,19	34,28	34,71	35,06	36,92	41,28	29,41	41,12	40,81	34,13	36,23	32,78	37,54	41,51	42,25	39,44	
Fp máx.	esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)	Fp (63J)	Fp(64J)
0,20	16,14	16,95	17,14	19,51	10,82	12,25	15,78	13,38	12,41	14,54	14,61	23,48	15,67	16,02	15,95	17,43	14,77	12,03	15,24	14,84	18,85	16,74	18,29	13,70	
0,40	28,70	27,36	27,72	31,12	16,26	19,94	29,19	20,37	18,67	20,75	29,84	33,99	24,88	31,21	22,31	23,03	24,02	17,56	25,70	24,42	27,19	27,25	28,18	20,63	
0,60	39,72	36,06	38,05	35,27	19,24	24,84	46,36	43,60	24,75	27,05	38,35	36,59	31,37	35,45	27,41	33,14	33,79	25,18	34,44	29,53	37,28	36,24	36,40	25,63	
0,80	54,86	42,76	46,31	35,91	23,42	33,52	67,65	53,73	35,22	34,30	43,49	39,98	43,55	43,79	32,50	39,14	41,47	34,62	42,91	27,82	40,60	45,53	43,26	34,41	
1,00	60,43	50,69	53,50	60,41	28,84	42,59	70,96	55,86	47,01	41,98	42,23	42,11	56,83	54,12	36,80	51,63	53,67	42,73	48,36	39,70	53,35	51,49	51,31	46,57	
Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-0 radial - madeira juvenil (γ) 20°																									
Fp min.	esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)	Fp (63J)	Fp(64J)
0,20	13,03	10,18	9,15	12,16	7,59	6,70	13,60	6,54	9,47	7,50	7,43	11,60	10,93	12,87	12,21	12,40	9,45	7,57	6,22	6,26	8,72	9,54	10,96	7,74	
0,40	17,06	12,01	11,59	19,89	10,94	7,53	16,12	12,00	12,99	11,83	10,66	17,75	14,24	17,07	16,64	16,85	11,94	11,58	9,55	9,49	11,63	14,21	16,25	9,96	
0,60	19,59	15,91	13,57	22,23	13,67	11,36	15,68	19,59	15,36	13,78	12,09	18,99	14,65	18,35	19,98	19,84	13,78	12,02	13,67	11,90	15,24	16,31	22,21	12,30	
0,80	21,20	10,70	15,09	20,58	14,41	11,84	14,89	14,63	17,62	17,57	15,87	24,31	17,76	19,84	21,56	21,84	16,10	13,19	12,44	12,51	17,31	19,08	24,08	16,09	
1,00	22,62	18,26	14,52	20,54	14,42	14,16	15,44	21,03	18,44	20,37	19,52	27,14	19,46	22,72	17,94	18,91	16,91	14,71	15,80	13,77	16,49	20,58	24,19	17,67	
Fp média	esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)	Fp (63J)	Fp(64J)
0,20	15,17	12,13	11,23	14,17	10,02	8,20	15,38	8,02	11,59	9,61	9,29	13,95	14,10	15,01	14,96	14,60	11,47	9,72	10,24	7,51	11,24	11,79	13,25	9,81	
0,40	22,16	15,68	15,05	23,31	14,13	10,39	19,09	14,57	16,72	15,20	14,15	21,16	19,39	20,93	20,96	20,65	15,10	14,04	13,91	11,41	15,07	17,61	19,60	13,07	
0,60	27,59	17,50	17,85	29,41	17,67	14,52	19,77	18,58	20,42	18,84	16,69	23,37	22,00	24,59	26,37	25,36	18,95	15,92	18,89	14,53	19,92	21,10	26,76	15,72	
0,80	32,18	21,38	20,21	30,36	20,05	18,67	20,07	26,02	24,75	23,57	20,78	29,97	24,08	27,94	28,29	29,05	22,37	19,07	21,49	16,44	24,42	25,97	32,49	20,42	
1,00	35,26	27,84	21,08	31,45	20,44	23,03	20,18	30,16	28,57	26,94	26,52	36,75	25,64	32,22	27,89	29,51	24,88	22,43	21,90	20,20	27,28	29,95	35,94	24,13	
Fp máx.	esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)	Fp (63J)	Fp(64J)
0,20	17,44	14,14	13,41	16,11	12,30	9,74	17,10	10,19	13,57	12,06	11,08	16,16	17,47	17,28	17,84	16,80	13,56	11,83	14,28	9,15	13,89	13,95	15,22	11,99	
0,40	27,25	19,61	18,28	27,03	17,94	13,46	23,26	17,02	19,68	18,67	17,34	24,59	25,19	24,52	25,15	24,30	19,08	16,75	20,04	12,98	18,47	21,05	22,94	16,49	
0,60	35,55	24,99	22,38	36,06	22,19	19,27	24,19	22,23	25,85	23,81	21,06	29,03	29,85	30,96	32,90	30,78	23,66	19,46	24,15	17,37	24,97	26,34	31,48	18,99	
0,80	43,09	27,47	25,88	38,93	26,57	25,07	24,25	34,33	30,70	29,73	26,66	37,68	33,42	36,25	34,94	37,19	28,71	24,90	35,55	19,20	31,90	32,60	40,65	24,91	
1,00	47,55	29,09	27,59	40,19	26,73	31,24	25,02	38,05	38,50	35,57	35,17	45,84	33,44	41,72	35,87	39,43	33,93	29,45	27,51	24,56	37,92	39,43	48,82	30,89	
Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-0 radial - madeira juvenil (γ) 30°																									
Fp min.	esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)	Fp (63J)	Fp(64J)
0,20	11,39	9,48	8,29	9,59	7,13	6,20	11,28	6,76	8,65	7,92	7,78	7,40	8,44	9,56	6,48	8,76	8,04	7,61	8,03	5,34	6,68	9,01	7,29	5,20	
0,40	14,45	11,10	10,08	10,67	8,47	10,58	16,73	14,43	11,37	10,10	9,90	12,47	12,72	12,67	7,98	10,94	10,02	11,55	10,85	6,66	10,40	12,95	11,30	7,55	
0,60	14,83	12,76	11,16	12,84	8,87	11,67	18,17	12,62	12,62	12,65	11,99	14,31	15,78	15,53	7,05	11,17	12,33	11,90	12,48	8,74	13,30	15,20	14,68	10,72	
0,80	15,22	14,60	6,30	13,25	11,04	10,34	18,10	10,59	14,20	16,03	14,17	15,46	16,32	17,65	9,14	16,93	12,42	12,25	11,71	10,36	13,49	18,57	17,31	15,52	
1,00	17,57	16,00	9,95	12,63	10,43	9,67	15,43	17,49	14,42	21,34	15,60	16,99	11,12	18,70	9,50	18,95	15,00	13,57	14,64	12,91	14,29	15,66	15,44	16,72	
Fp média	esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)	Fp (63J)	Fp(64J)
0,20	13,21	11,54	9,78	10,81	8,83	8,84	8,51	8,05	10,72	9,63	10,16	10,32	15,50	11,80	8,86	11,18	10,39	9,17	9,96	7,02	9,01	10,87	9,23	6,66	
0,40	17,24	15,00	13,04	13,67	11,19	13,44																			

Tabela a2. Valores de força de corte paralela – Fp (N/mm) em corte ortogonal 90-0, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de *Pinus taeda* – madeira adulta saturada. Formação do cavaco tipo II para os três ângulos estudados.

Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-0 radial - madeira adulta (γ)10°																						
Fp min.		Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)
esp		9,68	7,49	11,77	9,49	13,42	14,77	12,45	14,76	15,40	13,52	17,03	12,64	15,50	17,95	15,10	13,67	13,97	15,40	12,92	11,42	12,75
0,2		18,32	12,83	18,77	16,93	22,18	23,30	20,19	22,84	23,60	21,72	27,10	19,50	24,99	27,98	22,45	22,56	22,13	23,36	21,07	16,86	18,64
0,4		16,39	14,81	21,23	22,76	28,20	31,51	23,76	31,06	32,26	29,90	34,76	23,50	32,82	36,81	21,14	26,49	29,54	30,11	28,11	22,53	25,40
0,6		30,67	25,70	22,85	30,74	32,56	38,38	26,36	38,14	41,04	37,53	39,59	28,38	35,26	40,87	34,45	14,01	34,83	35,05	33,24	27,58	26,45
0,8		38,02	20,69	32,14	38,95	40,02	41,71	34,33	40,99	48,60	41,59	45,30	32,02	43,69	45,24	37,69	42,00	37,86	37,53	32,22	36,25	35,89
1,0																						
Fp média.		Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)
esp		13,37	11,90	15,25	12,65	15,61	17,04	14,67	18,08	17,76	16,51	19,91	15,95	18,09	20,58	18,27	16,63	16,32	17,13	15,27	13,83	16,16
0,2		23,42	20,17	24,68	21,76	26,18	27,53	25,01	28,11	27,59	27,38	32,45	25,51	29,80	33,86	29,62	28,02	26,11	28,23	25,72	21,59	25,29
0,4		31,96	23,89	28,35	29,28	34,63	37,61	31,50	38,13	38,21	38,12	42,94	32,41	40,30	44,95	38,80	37,49	35,28	36,80	36,76	28,63	34,25
0,6		42,46	33,92	35,00	40,17	42,46	46,10	37,91	47,59	51,00	50,68	49,95	39,47	49,33	52,72	47,26	44,23	42,52	44,84	42,39	36,96	37,38
0,8		52,84	40,44	45,40	51,72	50,69	51,69	46,02	53,86	61,93	60,68	58,63	48,64	58,08	59,17	54,87	55,09	48,76	50,53	47,92	46,51	50,96
1,0																						
Fp máx.		Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)
esp		17,28	16,91	19,22	15,41	17,98	19,18	16,86	21,60	20,26	19,90	22,96	18,87	20,52	22,97	21,18	19,14	18,83	18,89	17,63	16,74	19,90
0,2		28,50	27,57	30,17	26,66	29,78	32,12	30,07	33,63	31,35	33,43	38,05	31,36	35,02	38,47	34,46	32,74	30,34	32,93	29,88	26,28	32,17
0,4		42,08	33,50	36,12	36,28	41,12	43,21	37,89	47,02	45,03	47,53	51,79	41,74	48,78	52,92	47,29	47,01	41,55	44,55	44,23	34,99	43,79
0,6		53,01	44,09	42,46	50,66	50,95	54,80	46,88	59,27	61,71	63,98	62,69	50,27	60,35	65,95	58,47	57,18	50,34	55,12	52,70	48,41	51,07
0,8		67,05	59,45	60,41	65,86	64,50	60,56	56,52	67,59	76,26	83,39	74,64	63,03	73,93	72,14	70,07	69,21	59,29	66,71	62,02	59,05	65,53
1,0																						
Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-0 radial - madeira adulta (γ)20°																						
Fp min.		Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)
esp		9,23	7,08	9,98	13,15	12,75	13,36	13,14	14,09	13,82	10,56	13,89	10,10	14,39	15,95	16,64	13,76	11,67	12,27	11,04	9,71	8,46
0,2		13,83	11,57	17,25	18,24	18,04	19,65	19,26	19,94	20,47	15,02	19,94	6,51	19,37	22,88	23,59	19,30	17,16	16,65	15,68	15,08	13,91
0,4		16,60	11,61	22,15	21,30	23,66	25,32	22,46	23,01	23,24	19,42	24,79	20,76	24,43	26,14	27,89	23,07	21,37	17,89	19,74	18,76	17,12
0,6		16,34	11,45	24,09	21,30	26,18	28,08	23,98	20,61	25,85	22,57	24,72	23,86	26,83	32,98	29,56	26,30	23,04	20,60	20,61	20,51	21,36
0,8		18,89	15,53	24,05	23,15	29,15	28,54	24,22	21,73	29,70	21,11	28,90	25,16	27,30	38,21	34,18	28,93	24,24	19,76	25,08	17,51	20,57
1,0																						
Fp média.		Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)
esp		11,21	13,56	12,72	15,05	14,59	15,45	15,58	16,24	16,34	14,19	16,14	13,65	16,70	18,20	19,34	15,98	13,45	14,35	12,93	12,38	11,22
0,2		18,47	19,30	21,68	21,90	21,67	23,99	23,57	24,42	24,81	22,69	24,57	17,44	24,34	27,08	28,98	22,93	21,22	21,47	20,01	20,07	18,91
0,4		23,25	25,22	27,87	26,79	29,07	31,65	29,74	30,82	30,52	28,93	32,15	28,40	32,41	33,17	37,60	29,48	27,58	25,95	27,08	26,71	25,72
0,6		27,02	28,57	33,93	29,92	35,36	38,10	35,41	33,35	36,60	36,37	34,99	33,32	35,92	42,86	43,47	35,59	32,25	30,87	31,15	32,12	31,12
0,8		33,73	29,51	36,73	34,50	40,96	40,91	40,33	38,12	44,11	45,22	40,54	37,61	40,25	52,05	48,67	41,19	36,89	35,96	39,15	34,07	36,15
1,0																						
Fp máx.		Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)
esp		13,48	21,06	15,60	16,80	16,40	17,47	17,85	18,35	18,68	18,92	18,75	16,94	19,40	20,36	22,27	18,16	15,62	16,83	14,84	14,57	14,24
0,2		22,95	27,98	26,22	25,69	25,34	28,01	27,92	28,76	29,90	31,13	29,37	26,73	29,40	30,93	34,54	26,75	25,22	26,38	24,19	24,66	24,09
0,4		31,19	36,85	34,16	32,54	35,06	39,16	36,44	38,21	38,59	38,11	40,14	36,72	39,48	39,82	47,65	36,44	35,20	33,55	32,66	33,20	34,29
0,6		38,23	42,45	43,70	38,78	45,63	48,60	46,17	46,45	47,89	51,00	44,94	45,75	47,81	53,35	56,01	45,00	41,88	44,01	40,52	43,00	43,09
0,8		46,40	44,58	48,52	46,56	53,32	55,75	57,36	58,06	60,25	63,83	54,74	50,70	57,55	68,00	66,71	53,70	51,60	53,81	53,05	51,41	52,65
1,0																						
Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-0 radial - madeira adulta (γ)30°																						
Fp min.		Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)
esp		7,46	5,67	9,58	10,28	10,69	12,64	12,59	8,86	11,10	7,87	10,56	9,89	10,84	14,07	14,65	10,72	10,97	9,57	9,65	7,37	6,21
0,2		11,61	8,36	13,01	13,73	13,64	16,06	17,71	14,59	13,91	10,02	16,28	13,82	15,66	18,95	18,21	15,06	14,62	12,16	14,15	10,69	9,01
0,4		4,86	10,69	15,52	15,52	15,72	20,18	20,48	17,05	18,15	12,48	18,90	14,21	19,56	21,73	22,49	17,70	17,03	13,33	14,65	12,83	11,16
0,6		16,08	7,97	16,71	17,31	18,45	22,74	20,79	16,15	21,89	14,67	20,60	17,31	21,85	26,83	25,14	20,05	17,10	13,37	17,03	14,62	13,02
0,8		17,28	11,34	16,64	11,12	20,10	23,28	21,06	16,36	19,48	18,11	21,34	20,79	21,97	27,63	27,05	21,23	19,26	15,08	16,38	17,69	11,99
1,0																						
Fp média.		Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)
esp		10,37	8,53	11,89	12,37	12,31	14,40	14,71	10,90	14,16	11,22	13,59	12,46	13,73	16,04	16,75	12,83	13,13	12,55	12,04	11,30	8,64
0,2		15,32																				

Força Normal Pinus Taeda - Corte 90-0 radial - juvenil (γ)10°																									
Fn mín.		Fn(11J)	Fn(12J)	Fn(13J)	Fn(14J)	Fn(21J)	Fn(22J)	Fn(23J)	Fn(24J)	Fn(31J)	Fn(32J)	Fn(33J)	Fn(34J)	Fn(41J)	Fn(42J)	Fn(43J)	Fn(44J)	Fn(51J)	Fn(52J)	Fn(53J)	Fn(54J)	Fn(61J)	Fn(62J)	Fn(63J)	Fn(64J)
0,2	5,64	5,79	5,95	6,16	3,51	2,73	4,79	2,01	3,03	3,54	3,20	3,09	6,40	5,91	7,46	5,41	3,72	3,85	2,90	3,27	4,04	5,40	5,50	2,85	
0,4	6,97	7,01	6,96	7,31	3,39	2,33	5,07	2,75	5,11	3,72	4,59	4,01	7,21	7,57	5,82	5,34	4,15	3,28	3,42	3,63	6,90	5,91	5,95	3,41	
0,6	8,19	7,65	7,84	6,92	3,24	2,48	6,35	4,19	3,53	4,04	4,80	5,58	7,72	7,84	6,22	6,55	4,91	3,28	4,39	3,79	7,28	6,07	6,35	4,04	
0,8	9,78	8,66	8,43	7,52	3,71	2,98	8,07	5,19	4,10	4,45	5,08	5,32	7,40	8,35	6,48	6,52	5,37	4,21	4,93	3,88	5,61	6,43	7,05	4,55	
1,0	10,32	8,78	9,05	8,93	3,75	3,91	7,74	4,08	5,06	4,87	5,08	5,20	7,37	8,01	5,82	7,30	5,81	4,70	5,08	3,94	4,39	6,86	6,98	4,70	
Fn média		Fn(11J)	Fn(12J)	Fn(13J)	Fn(14J)	Fn(21J)	Fn(22J)	Fn(23J)	Fn(24J)	Fn(31J)	Fn(32J)	Fn(33J)	Fn(34J)	Fn(41J)	Fn(42J)	Fn(43J)	Fn(44J)	Fn(51J)	Fn(52J)	Fn(53J)	Fn(54J)	Fn(61J)	Fn(62J)	Fn(63J)	Fn(64J)
esp	4,36	4,50	4,75	5,15	4,37	3,02	5,49	2,97	4,74	4,63	4,25	4,96	7,39	6,71	8,80	6,16	4,81	4,63	3,96	4,46	6,10	6,58	6,81	3,98	
0,2	5,53	5,41	5,39	5,89	4,15	3,48	6,04	3,69	6,57	5,04	5,87	6,03	8,06	8,62	7,17	6,54	5,47	4,39	4,76	4,46	9,11	7,20	7,35	4,84	
0,6	6,35	6,07	6,25	4,48	4,45	3,70	7,61	5,89	6,13	5,85	6,28	6,77	8,56	9,38	8,29	7,73	6,07	4,78	5,58	4,74	11,09	7,77	7,90	5,34	
0,8	7,49	6,71	6,69	5,74	4,76	4,44	9,51	6,70	5,80	6,61	6,60	6,64	9,11	10,09	8,51	8,21	6,67	5,26	6,21	4,86	8,21	8,33	8,36	5,97	
1,0	8,22	7,25	7,26	7,79	4,16	5,44	9,35	6,17	7,09	7,17	6,29	6,77	9,09	10,52	8,12	9,06	7,41	5,95	6,43	5,26	7,60	8,94	8,68	6,05	
Fn máx.		Fn(11J)	Fn(12J)	Fn(13J)	Fn(14J)	Fn(21J)	Fn(22J)	Fn(23J)	Fn(24J)	Fn(31J)	Fn(32J)	Fn(33J)	Fn(34J)	Fn(41J)	Fn(42J)	Fn(43J)	Fn(44J)	Fn(51J)	Fn(52J)	Fn(53J)	Fn(54J)	Fn(61J)	Fn(62J)	Fn(63J)	Fn(64J)
0,2	3,21	3,21	3,37	4,03	5,18	4,86	6,16	3,68	6,37	5,97	5,48	6,58	8,53	7,74	10,35	6,93	6,00	5,67	4,73	6,16	8,60	7,98	7,93	4,83	
0,4	4,08	3,97	3,92	4,58	5,21	4,46	7,05	4,73	8,45	6,45	7,48	7,51	9,04	9,70	8,86	7,46	6,58	5,56	6,00	5,30	11,61	8,95	8,69	6,30	
0,6	4,84	4,61	4,80	4,18	5,67	5,06	8,78	7,84	8,25	7,54	7,99	7,86	9,85	11,18	10,47	9,29	7,34	6,01	6,83	5,76	15,64	9,41	9,70	7,08	
0,8	5,22	4,70	4,93	4,33	6,14	6,17	10,96	8,23	7,90	8,85	8,28	8,06	10,90	12,15	10,44	9,71	8,10	6,49	7,67	6,01	11,84	10,08	10,25	7,59	
1,0	6,37	5,59	5,40	6,50	6,94	6,50	11,39	8,49	9,32																

Força Normal Pinus Taeda - Corte 90-0 radial - adulta (γ)10°																								
Fn mín.																								
esp	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn (33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)	Fn(52A)	Fn(53A)	Fn(54A)	Fn(61A)	Fn(62A)	Fn(63A)	Fn(64A)
0,2	2,04	1,96	3,06	3,47	4,45	5,12	4,80	5,17	5,31	3,72	5,19	4,66	4,94	6,42	5,81	4,56	5,15	5,41	4,48	3,82	4,33	4,91	5,81	4,05
0,4	3,71	1,82	4,03	4,10	5,30	6,60	6,27	5,82	6,57	4,73	7,09	5,79	6,43	8,04	7,41	5,31	5,80	6,41	5,64	4,45	5,55	6,22	7,21	5,55
0,6	3,32	1,84	4,31	5,08	6,50	7,81	6,89	6,98	7,82	6,00	8,35	5,97	7,14	9,30	5,94	5,97	6,92	7,00	6,80	5,18	6,44	6,89	7,76	7,06
0,8	5,28	1,79	4,39	6,61	7,19	8,72	7,02	7,65	9,05	6,99	8,72	7,08	8,04	9,56	8,41	3,86	7,49	7,60	7,23	6,25	6,87	7,67	8,47	7,98
1,0	6,91	2,72	6,53	8,60	8,22	8,56	8,01	7,94	10,26	6,86	9,11	7,01	8,98	9,91	8,86	8,16	7,34	7,91	7,28	7,08	8,28	7,40	8,52	8,35
Fn média.																								
esp	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn (33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)	Fn(52A)	Fn(53A)	Fn(54A)	Fn(61A)	Fn(62A)	Fn(63A)	Fn(64A)
0,2	3,69	3,55	4,24	4,69	5,27	5,95	5,78	6,17	6,15	5,24	6,32	5,74	5,93	7,42	7,05	5,37	5,98	6,09	5,65	4,87	5,70	6,21	7,11	5,27
0,4	5,15	3,89	5,21	5,68	6,67	7,67	7,37	7,31	7,76	6,33	8,36	7,32	7,65	9,29	8,70	6,85	7,00	7,64	6,79	5,74	7,05	7,66	8,44	6,75
0,6	6,13	4,18	5,67	6,64	7,71	9,07	8,39	8,48	9,33	7,65	9,79	7,92	8,71	10,76	9,75	8,10	8,28	8,78	8,29	6,71	8,31	8,70	9,80	9,02
0,8	7,25	4,21	6,27	8,21	8,81	10,02	9,10	9,39	11,00	9,23	10,60	8,74	9,92	11,47	10,68	8,78	9,04	9,63	9,05	7,58	9,00	9,49	10,61	9,70
1,0	8,30	5,95	8,23	10,21	9,69	10,46	10,06	9,87	12,30	9,47	11,41	9,82	11,10	12,30	11,53	10,18	9,29	10,31	9,56	8,55	10,53	9,87	11,02	10,56
Fn máx.																								
esp	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn (33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)	Fn(52A)	Fn(53A)	Fn(54A)	Fn(61A)	Fn(62A)	Fn(63A)	Fn(64A)
0,2	5,08	5,76	5,49	5,91	6,13	6,64	6,62	7,14	7,28	6,76	7,47	6,79	6,92	8,25	8,09	6,38	6,67	7,24	6,76	5,65	7,07	7,34	8,55	6,33
0,4	6,90	6,69	6,46	6,99	7,88	8,73	8,55	8,71	9,01	8,22	9,83	8,98	9,01	10,47	9,99	8,19	8,38	8,85	8,07	7,03	8,89	9,41	9,95	8,28
0,6	8,95	7,16	7,20	8,12	9,08	10,54	9,93	10,02	10,71	9,34	11,23	9,77	10,34	12,49	11,56	9,93	9,50	11,26	9,84	8,53	10,09	10,38	11,41	11,01
0,8	9,69	7,11	7,73	10,26	10,38	11,45	10,97	11,29	12,85	11,70	12,37	10,58	11,84	13,82	12,51	10,85	10,68	11,55	11,03	9,59	11,13	11,32	12,87	11,63
1,0	9,95																							

Tabela a5. Valores de força de corte paralela – Fp (N/mm) em corte ortogonal 90-90, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de *Pinus taeda* – madeira juvenil saturada.

Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira juvenil (γ) 20°																						
Fp min.																						
esp	Fp (11J)	Fp(12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)
0,2	5,63	6,07	6,95	6,95	5,01	6,55	6,33	6,33	2,56	4,32	3,44	2,56	6,13	5,69	8,78	7,02	2,11	3,87	2,99	2,11	5,68	5,24
0,4	8,72	6,95	7,39	11,80	17,10	12,69	17,54	13,57	13,35	13,79	14,67	14,67	15,89	12,36	11,47	8,67	12,90	13,34	14,22	14,22	15,44	11,91
0,6	10,28	13,15	9,84	11,17	19,29	17,52	23,70	17,52	12,20	12,20	11,32	7,79	14,41	15,29	15,29	10,15	11,75	11,75	10,87	7,34	13,96	14,84
0,8	12,75	13,86	15,40	15,40	20,06	18,73	24,47	22,71	20,59	22,35	21,47	18,38	16,81	15,93	20,34	17,26	20,14	21,90	21,02	17,93	16,36	15,48
1,0	21,34	22,00	24,65	22,00	21,56	22,88	26,41	24,65	14,67	19,53	20,41	19,97	27,18	24,54	24,54	21,89	14,22	19,08	19,96	19,52	26,73	24,09
Fp média																						
esp	Fp (11J)	Fp (12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)
0,2	16,69	17,85	17,60	18,68	16,23	14,74	20,07	19,66	18,63	19,13	19,15	20,40	25,38	21,10	22,14	21,97	18,18	18,68	18,70	19,95	24,93	20,65
0,4	26,79	29,43	28,39	32,59	31,15	30,46	35,82	33,84	29,73	31,20	34,05	33,56	39,32	33,26	32,66	30,00	29,28	30,75	33,60	33,11	38,87	32,81
0,6	33,61	38,82	33,63	38,61	39,19	38,79	43,85	45,61	36,92	38,67	39,76	35,27	48,17	42,93	45,82	39,53	36,47	38,22	39,31	34,82	47,72	42,48
0,8	41,07	48,77	43,30	48,93	41,09	42,04	50,88	45,57	45,81	49,68	54,90	49,39	62,35	52,31	57,69	49,95	45,36	49,23	54,45	48,94	61,90	51,86
1,0	52,99	61,13	52,69	55,18	47,72	48,47	59,27	48,98	47,14	51,21	61,77	58,42	75,73	63,97	68,79	61,55	46,69	50,76	61,32	57,97	75,28	63,52
Fp máx.																						
esp	Fp (11J)	Fp (12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)
0,2	38,72	33,43	33,87	32,99	38,11	32,81	40,31	37,22	40,95	36,10	36,98	36,10	37,47	33,94	36,14	35,70	40,50	35,65	36,53	35,65	37,02	33,49
0,4	53,73	56,16	54,61	57,03	51,96	53,73	59,02	52,85	56,16	50,42	49,54	53,07	57,81	51,63	56,93	58,25	55,71	49,97	49,09	52,62	57,36	51,18
0,6	69,64	74,93	66,11	67,87	67,39	68,27	74,89	66,50	62,95	62,07	61,19	60,75	76,63	69,13	79,28	73,54	62,50	61,62	60,74	60,30	76,18	68,68
0,8	76,30	86,45	81,82	83,12	73,01	71,25	84,05	69,04	82,81	80,16	74,43	81,49	85,22	84,33	88,31	91,83	82,36	79,71	73,98	81,04	84,77	83,88
1,0	94,37	90,19	89,74	89,75	84,66	91,28	98,34	80,25	97,64	85,28	91,46	93,22	101,76	103,53	97,80	103,09	97,19	84,83	91,01	92,77	101,31	103,08
Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira juvenil (γ) 30°																						
Fp min.																						
esp	Fp (11J)	Fp (12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)
0,2	4,40	4,40	5,62	5,93	5,23	5,80	5,42	4,47	4,47	2,18	4,86	2,95	7,67	6,90	5,76	5,76	4,08	1,79	4,47	2,56	7,28	6,51
0,4	11,61	11,23	11,57	8,55	8,01	11,84	7,63	8,78	4,57	8,78	9,93	9,93	10,98	9,06	3,71	2,56	4,18	8,39	9,54	10,59	8,67	3,32
0,6	13,48	17,31	18,07	17,69	7,97	13,33	10,27	9,12	9,43	10,58	13,25	12,49	19,08	21,76	15,64	11,44	9,04	10,19	12,86	12,10	18,69	21,37
0,8	10,54	15,13	15,51	11,30	12,47	17,82	17,06	13,23	12,22	12,60	17,96	17,96	17,06	21,65	9,03	7,88	11,83	12,21	17,57	17,57	16,67	21,26
1,0	15,55	15,55	11,72	19,37	18,74	20,65	22,95	17,98	13,25	21,28	22,05	23,96	20,71	24,15	19,95	13,44	12,86	20,89	21,66	23,57	20,32	23,76
Fp média																						
esp	Fp (11J)	Fp (12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)
0,2	13,31	17,35	16,66	18,30	13,41	14,74	17,44	15,82	15,11	16,22	17,04	18,25	21,12	18,79	20,27	18,02	14,72	15,83	16,65	17,86	20,73	18,40
0,4	21,84	29,65	26,51	29,31	22,95	25,39	30,29	25,08	22,29	26,12	27,72	29,85	30,78	24,90	23,66	21,25	21,90	25,73	27,33	29,46	30,39	24,51
0,6	30,29	38,45	34,71	37,07	30,11	32,17	36,57	33,48	28,87	33,35	37,62	35,22	42,02	37,23	40,55	33,21	28,48	32,96	37,23	34,83	41,63	36,84
0,8	33,40	45,11	40,96	41,49	33,97	38,72	43,15	37,20	30,46	38,85	43,55	45,76	49,24	44,59	46,04	39,13	30,07	38,46	43,16	45,37	48,85	44,20
1,0	36,84	50,10	44,32	45,98	42,03	49,41	55,98	46,37	35,44	47,49	54,11	56,77	58,36	53,25	54,22	43,93	35,05	47,10	53,72	56,38	57,97	52,86
Fp máx.																						
esp	Fp (11J)	Fp (12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)
0,2	31,94	34,23	31,55	33,10	27,41	27,41	29,90	27,99	32,78	28,95	28,95	32,78	32,53	28,32	31,00	29,47	32,39	28,56	28,56	32,39	32,14	27,93
0,4	49,09	58,65	51,00	54,44	43,20	45,11	50,08	42,82	47,79	45,11	45,11	50,48	49,61	43,10	44,63	44,54	47,40	44,72	44,72	50,09	49,22	
0,6	55,93	66,26	60,14	55,93	52,72	56,16	62,67	53,49	64,50	61,06	59,53	63,35	68,80	55,80	64,98	61,16	64,11	60,67	59,14	62,96	68,41	
0,8	64,85	82,82	74,41	68,29	60,28	70,22	76,72	62,19	70,35	60,41	65,00	67,68	72,52	69,84	78,25	71,77	69,96	60,02	64,61	67,29	72,13	
1,0	75,98	91,27	81,79	72,53	71,14	84,91	84,52	79,93	71,77	74,45	78,65	83,61	78,85	82,67	89,55	79,23	71,38	74,06	78,26	83,22	78,46	
Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira juvenil (γ) 40°																						
Fp min.																						
esp	Fp (11J)	Fp (12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)
0,2	4,63	7,11	7,31	5,05	3,66	5,10	5,30	4,69	3,34	2,92	1,69	2,10	3,97	2,33	1,50	2,37	2,92	2,50	1,27	1,68	3,55	1,91
0,4	8,90	9,10	9,31	6,84	6,73	6,73	7,15	7,97	8,51	8,92	11,80	11,80	6,12	8,18	7,76	4,88	8,09	8,50	11,38	5,70	7,76	7,34
0,6	10,06	12,74	13,56	9,85	10,54	12,19	13,43	13,02	9,41	11,88	12,29	9,82	13,16	14,81	12,34	11,51	8,99	11,46	11,87	9,40	12,74	14,39
0,8	10,36	14,89	15,92	14,48	11,78	14,25	13,84	13,84	17,53	16,70	17,94	18,35	13,72	17,01	11,24	13,30	17,11	16,28	17,52	17,93	13,30	16,59
1,0	15,91	19,82	18,79	15,50	14,64	15,88	18,35	16,70	16,87	17,69	18,93	19,75	15,38	17,86	13,74	16,62	16,45	17,27	18,51	19,33	14,96	17,44
Fp média																						
esp	Fp (11J)	Fp (12J)	Fp (13J)	Fp(14J)	Fp (21J)	Fp(22J)	Fp (23J)	Fp(24J)	Fp (31J)	Fp(32J)	Fp (33J)	Fp(34J)	Fp (41J)	Fp(42J)	Fp (43J)	Fp(44J)	Fp (51J)	Fp(52J)	Fp (53J)	Fp(54J)	Fp (61J)	Fp(62J)
0,2	10,78	12,08	11,75	12,00	12,86	12,76	13,27	13,37	10,89	12,00	8,84	8,21	12,45	10,72	10,01	8,46	10,47	11,58	8,42	7,79	12,03	10,30
0,4	17,03	19,52	18,81	19,71	17,05	16,80	18,51	17,77	17,87	19,19	19,61	20,54	18,14	17,65	18,46	16,80	17,45	18,77	19,			

Tabela a6. Valores de força de corte paralela – Fp (N/mm) em corte ortogonal 90-90, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de *Pinus taeda* – madeira adulta saturada.

Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira adulta (γ)20°													Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira adulta (γ)20°												
Fp mín.																									
esp	Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)	Fp(62A)	Fp (63A)	Fp(64A)	
0,2	7,83	8,72	6,51	4,30	7,66	7,66	8,10	6,77	6,97	5,21	3,93	8,30	9,22	9,22	8,78	7,46	6,67	4,91	3,63	8,00	8,92	8,92	8,48	7,16	
0,4	19,75	18,42	12,03	13,13	17,54	17,54	19,31	17,54	12,47	16,00	15,56	19,09	16,77	13,68	13,68	13,97	12,17	15,70	15,26	18,79	16,47	13,38	13,38	13,67	
0,6	23,52	24,62	11,17	23,74	28,11	24,14	24,14	22,37	13,53	14,85	12,64	15,73	16,62	15,73	17,50	14,56	13,23	14,55	12,34	15,43	16,32	15,43	17,20	14,26	
0,8	30,19	36,58	19,59	33,27	28,88	25,35	26,68	23,35	36,03	28,97	24,56	24,12	27,85	28,29	24,76	22,55	35,73	28,67	24,26	23,82	27,55	27,99	24,46	22,25	
1,0	34,80	45,39	32,59	42,52	30,38	29,06	28,62	29,50	49,98	38,06	23,94	27,03	33,80	38,66	32,48	26,30	49,68	37,76	23,64	26,73	33,50	38,36	32,18	26,00	
Fp média.																									
esp	Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)	Fp(62A)	Fp (63A)	Fp(64A)	
0,2	22,31	22,59	20,78	19,72	20,82	20,52	22,53	21,09	25,56	25,47	24,28	21,29	25,61	24,91	22,47	20,45	25,26	25,17	23,98	20,99	25,31	24,61	22,17	20,15	
0,4	39,70	38,26	35,24	37,52	36,75	34,84	37,09	33,86	40,30	40,10	38,10	34,49	39,94	36,49	37,74	34,01	40,00	39,80	37,80	34,19	39,64	36,19	37,44	33,71	
0,6	47,54	48,10	42,85	47,09	42,80	48,23	46,17	47,77	42,31	42,33	43,37	35,80	48,56	44,56	47,00	40,98	42,01	42,03	43,07	35,50	48,26	44,26	46,70	40,68	
0,8	60,86	61,24	54,82	61,35	51,36	50,50	52,24	49,43	61,11	58,87	58,58	52,64	65,42	58,65	60,92	57,10	60,81	58,57	58,28	52,34	65,12	58,35	60,62	56,80	
1,0	74,48	73,80	66,49	70,02	58,19	57,73	62,03	58,04	76,90	68,96	62,65	58,71	77,94	71,31	74,90	62,30	76,60	68,66	62,35	58,41	77,64	71,01	74,60	62,00	
Fp máx.																									
esp	Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)	Fp(62A)	Fp (63A)	Fp(64A)	
0,2	40,49	41,81	37,84	36,52	38,99	37,22	42,08	38,55	41,84	40,95	39,63	40,07	41,44	38,35	36,14	39,67	41,54	40,65	39,33	39,77	41,14	38,05	35,84	39,37	
0,4	63,44	65,42	62,11	61,67	56,82	54,17	59,91	53,29	59,24	60,13	56,60	54,39	68,40	57,37	60,02	63,55	58,94	59,83	56,30	54,09	68,10	57,07	59,72	63,25	
0,6	73,83	80,67	74,71	74,71	70,03	71,36	81,95	69,15	72,22	65,60	68,25	63,39	82,37	71,78	79,72	74,87	71,92	65,30	67,95	63,09	82,07	71,48	79,42	74,57	
0,8	88,88	93,51	92,19	92,85	75,22	78,75	91,55	76,10	83,69	78,84	89,43	83,25	99,34	101,98	99,34	92,28	83,39	78,54	89,13	82,95	99,04	101,68	99,04	91,98	
1,0	103,42	105,85	99,01	100,55	90,84	98,34	110,70	89,96	99,40	95,43	98,08	100,29	107,50	118,97	115,00	105,27	99,10	95,13	97,78	99,99	107,20	118,67	114,70	104,97	
Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira adulta (γ)30°													Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira adulta (γ)30°												
Fp mín.																									
esp	Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)	Fp(62A)	Fp (63A)	Fp(64A)	
0,2	4,78	5,66	5,16	6,42	6,76	6,38	6,00	5,42	4,09	6,39	6,00	5,24	4,61	6,90	5,37	3,46	3,83	6,13	5,74	4,98	4,35	6,64	5,11	3,20	
0,4	15,43	16,58	11,99	10,46	10,31	13,75	13,37	10,69	6,87	12,98	11,84	13,37	14,42	8,30	13,27	10,98	6,61	12,72	11,58	13,11	14,16	8,04	13,01	10,72	
0,6	21,51	24,19	19,98	20,75	15,24	13,33	14,09	15,62	13,63	14,40	15,55	12,87	16,03	20,61	22,14	6,08	13,37	14,14	15,29	12,61	15,77	20,35	21,88	5,82	
0,8	27,75	31,19	23,92	29,66	18,59	18,21	17,44	15,15	20,25	30,96	18,34	22,16	8,64	24,32	25,09	13,62	19,99	30,70	18,08	21,90	8,38	24,06	24,83	13,36	
1,0	35,44	30,46	20,52	31,99	30,98	22,18	24,86	21,80	33,52	42,32	26,64	27,40	21,48	29,12	32,18	15,36	33,26	42,06	26,38	27,14	21,22	28,86	31,92	15,10	
Fp média.																									
esp	Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)	Fp(62A)	Fp (63A)	Fp(64A)	
0,2	21,70	21,37	19,78	21,53	17,73	17,46	17,46	16,64	21,88	23,75	23,55	19,51	20,83	21,50	21,41	16,84	21,62	23,49	23,29	19,25	20,57	21,24	21,15	16,58	
0,4	33,29	34,55	31,98	31,17	29,19	28,60	29,03	28,74	34,53	35,13	34,20	30,28	32,82	28,79	32,21	29,99	34,27	34,87	33,94	30,02	32,56	28,53	31,95	29,73	
0,6	43,89	43,74	41,68	41,80	36,86	36,95	36,86	35,41	44,14	43,84	43,35	37,94	40,52	41,62	45,10	30,55	43,88	43,58	43,09	37,68	40,26	41,36	44,84	30,29	
0,8	52,70	54,25	49,69	52,65	42,43	43,09	44,85	42,57	53,32	53,03	52,73	46,32	41,92	49,75	56,23	43,41	53,06	52,77	52,47	46,06	41,66	49,49	55,97	43,15	
1,0	56,12	59,27	52,77	59,69	56,03	55,73	56,08	53,39	66,28	66,20	65,63	58,61	52,94	57,17	63,69	46,81	66,02	65,94	65,37	58,35	52,68	56,91	63,43	46,55	
Fp máx.																									
esp	Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)	Fp(62A)	Fp (63A)	Fp(64A)	
0,2	35,38	37,29	35,38	40,35	28,18	29,71	31,43	30,66	33,54	33,54	34,69	33,16	32,53	30,62	33,29	33,29	33,28	33,28	34,43	32,90	32,27	30,36	33,03	33,03	
0,4	55,21	63,24	55,21	57,50	46,26	47,79	50,47	48,17	49,70	49,70	51,23	53,14	51,14	50,75	57,25	54,19	49,44	49,44	50,97	52,88	50,88	50,49	56,99	53,93	
0,6	65,50	75,82	63,97	63,20	56,16	61,90	64,20	59,99	64,88	66,80	68,33	66,41	63,83	63,83	73,78	61,92	64,62	66,54	68,07	66,15	63,57	63,57	73,52	61,66	
0,8	83,59	85,50	75,17	75,94	64,87	74,43	80,16	70,60	69,97	71,12	76,86	78,77	64,10	76,34	95,84	77,87	69,71	70,86	76,60	78,51	63,84	76,08	95,58	77,61	
1,0	89,74	102,37	84,39	89,36	73,05	87,97	99,06	86,44	87,45	88,98	98,92	97,01	82,67	85,35	106,00	87,26	87,19	88,72	98,66	96,75	82,41	85,09	105,74	87,00	
Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira adulta (γ)40°													Força paralela Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - madeira adulta (γ)40°												
Fp mín.																									
esp	Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp (21A)	Fp(22A)	Fp (23A)	Fp(24A)	Fp (31A)	Fp(32A)	Fp(33A)	Fp(34A)	Fp (41A)	Fp(42A)	Fp (43A)	Fp(44A)	Fp(51A)	Fp(52A)	Fp (53A)	Fp(54A)	Fp (61A)	Fp(62A)	Fp (63A)	Fp(64A)	
0,2	7,17	2,39	3,73	4,11	4,16	5,50	5,31	5,31	2,72	4,25	5,78	5,78	3,31	3,31	3,45	3,18	2,46	3,99	5,52	5,52	3,05	3,05	3,19	2,92	
0,4	11,32	9,41	7,88	10,36	8,17	7,40	8,55	8,17	9,05	10,58	11,34	9,05	8,36	8,74	7,59	2,62	8,79	10,32	11,08	8,79	8,10	8,48	7,33	2,36	
0,6	12,98	12,40	11,45	13,93	12,09	12,09	12,47	12,47	7,97	12,18	9,89	11,42	16,04	13,37	12,22	6,48	7,71	11,92	9,63	11,16	15,78	13,11	11,96	6,22	
0,8	15,55	15,74	13,25	16,12	14,76	14,76	14,00	14,38	15,51	18,57	17,04	17,04	18,47	14,27	11,59	10,06	15,25	18,31	16,78	16,78	18,21	14,01	11,33	9,80	
1,0	17,26	18,02	16,88	17,64	18,57	17,04	17,42	16,27	15,66	18,72	17,96	14,51	21,17	19,26	16,58	14,67	15,40	18,46	17,70	14,25	20,91	19,00	16,32	14,41	
Fp média.																									
esp	Fp (11A)	Fp(12A)	Fp (13A)	Fp(14A)	Fp																				

Tabela a7. Valores de força de corte normal – Fn (N/mm) em corte ortogonal 90-90, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de *Pinus taeda* – madeira juvenil saturada.

Força Normal Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - juvenil (γ)20°																								
F _n min.																								
esp	F _n (11J)	F _n (12J)	F _n (13J)	F _n (14J)	F _n (21J)	F _n (22J)	F _n (23J)	F _n (24J)	F _n (31J)	F _n (32J)	F _n (33J)	F _n (34J)	F _n (41J)	F _n (42J)	F _n (43J)	F _n (44J)	F _n (51J)	F _n (52J)	F _n (53J)	F _n (54J)	F _n (61J)	F _n (62J)	F _n (63J)	F _n (64J)
0,2	-0,06	0,83	0,38	0,38	0,15	-0,73	0,15	0,13	0,42	0,42	0,86	0,42	1,10	0,66	0,66	0,22	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	0,68	0,68	0,68	1,13
0,4	-0,83	-0,83	-1,27	-1,50	-1,17	-0,29	-1,17	-0,29	-1,35	0,42	0,42	-0,02	-0,20	-0,20	-0,64	-1,52	-0,02	-0,02	-1,35	0,42	0,79	0,35	0,35	0,35
0,6	-2,18	-2,40	-1,96	-2,20	-2,96	-1,63	-3,40	-2,52	-1,94	-1,50	-0,62	-1,08	-3,31	-1,54	-4,19	-2,87	-1,94	-1,94	-3,27	-1,50	-0,11	-0,11	-0,55	-0,99
0,8	-3,00	-4,99	-3,66	-4,11	-3,88	-3,00	-4,77	-3,44	-4,28	-2,96	-2,07	-3,38	-5,63	-2,98	-6,07	-4,30	-2,85	-1,96	-3,73	-2,40	-2,14	-2,14	-3,46	-3,46
1,0	-3,99	-6,42	-4,88	-5,33	-6,00	-5,12	-6,88	-5,12	-6,02	-3,82	-4,26	-5,58	-7,85	-4,32	-8,30	-6,09	-3,55	-3,55	-5,32	-3,99	-2,98	-2,98	-4,74	-5,65
F _n média																								
esp	F _n (11J)	F _n (12J)	F _n (13J)	F _n (14J)	F _n (21J)	F _n (22J)	F _n (23J)	F _n (24J)	F _n (31J)	F _n (32J)	F _n (33J)	F _n (34J)	F _n (41J)	F _n (42J)	F _n (43J)	F _n (44J)	F _n (51J)	F _n (52J)	F _n (53J)	F _n (54J)	F _n (61J)	F _n (62J)	F _n (63J)	F _n (64J)
0,2	1,93	2,04	1,89	2,12	2,39	2,00	2,19	2,23	2,07	2,29	2,37	2,03	2,19	2,34	2,22	2,32	1,85	1,91	1,92	2,07	2,36	2,45	2,76	2,86
0,4	1,94	1,79	1,96	1,87	2,22	2,24	1,88	2,14	1,89	2,19	2,22	1,92	1,65	2,18	1,84	1,89	1,96	2,14	1,75	2,40	2,58	2,34	2,28	2,42
0,6	1,88	1,45	1,65	1,53	1,54	1,65	0,96	1,29	1,40	1,58	1,52	1,45	0,93	1,70	1,02	1,53	1,42	1,59	1,35	1,73	2,24	1,99	1,79	2,12
0,8	1,52	0,78	1,42	1,25	1,17	1,36	0,49	1,09	0,68	0,93	0,80	0,80	-0,37	1,30	0,25	1,01	1,17	1,75	1,29	1,50	1,63	1,47	0,74	1,40
1,0	1,09	0,19	1,10	0,84	0,59	0,70	-0,52	0,09	0,76	0,60	-0,03	0,03	-1,78	0,62	-0,40	0,21	1,01	1,41	0,37	1,05	2,06	1,26	0,14	0,03
F _p máx.																								
esp	F _n (11J)	F _n (12J)	F _n (13J)	F _n (14J)	F _n (21J)	F _n (22J)	F _n (23J)	F _n (24J)	F _n (31J)	F _n (32J)	F _n (33J)	F _n (34J)	F _n (41J)	F _n (42J)	F _n (43J)	F _n (44J)	F _n (51J)	F _n (52J)	F _n (53J)	F _n (54J)	F _n (61J)	F _n (62J)	F _n (63J)	F _n (64J)
0,2	4,80	4,80	3,92	4,80	5,01	4,57	4,57	4,57	3,51	3,51	4,39	3,95	3,75	4,63	4,19	5,08	3,44	4,32	4,32	4,32	4,66	4,21	5,10	6,42
0,4	6,01	5,13	6,45	6,01	4,57	4,57	4,57	4,57	4,39	3,95	3,95	4,39	4,21	5,10	4,66	4,66	5,27	6,16	5,72	7,48	5,65	4,77	6,09	5,21
0,6	5,98	5,76	5,32	6,20	4,10	4,55	4,55	4,99	3,80	3,80	4,24	3,35	3,75	5,96	5,52	5,96	5,56	6,88	6,44	5,56	6,51	4,30	6,07	6,95
0,8	7,59	6,27	6,05	6,49	4,50	4,50	4,50	4,94	3,66	3,66	4,10	3,66	4,08	5,85	4,96	6,29	5,98	6,86	7,75	6,42	5,36	5,80	4,92	6,69
1,0	7,04	7,26	5,72	5,49	3,71	4,59	4,15	4,59	4,57	4,13	4,13	3,69	4,94	7,15	5,38	5,38	5,72	8,80	4,39	6,16	7,61	6,29	4,96	7,17
Força Normal Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - juvenil (γ)30°																								
F _n min.																								
esp	F _n (11J)	F _n (12J)	F _n (13J)	F _n (14J)	F _n (21J)	F _n (22J)	F _n (23J)	F _n (24J)	F _n (31J)	F _n (32J)	F _n (33J)	F _n (34J)	F _n (41J)	F _n (42J)	F _n (43J)	F _n (44J)	F _n (51J)	F _n (52J)	F _n (53J)	F _n (54J)	F _n (61J)	F _n (62J)	F _n (63J)	F _n (64J)
0,2	-0,34	-0,34	0,04	0,04	0,15	0,15	0,54	0,55	0,82	0,82	0,82	0,44	0,59	0,59	0,21	0,59	-1,40	-1,01	-2,16	-2,93	0,59	0,59	0,59	1,36
0,4	-1,53	-2,29	-1,53	-1,93	-0,40	-1,17	-0,78	-0,78	-0,78	-0,02	-0,02	-0,40	-1,47	-0,71	-0,71	0,13	0,13	0,13	0,13	0,36	-0,02	-0,02	-0,40	-0,40
0,6	-1,99	-3,90	-2,37	-1,63	-1,20	-2,35	-1,97	-1,97	-2,62	-2,24	-1,85	-1,85	-2,47	-1,70	-2,47	-1,32	-1,40	-1,01	-2,16	-2,16	-0,48	-1,24	-1,63	-2,77
0,8	-3,48	-5,01	-4,63	-3,10	-3,54	-3,92	-3,92	-3,52	-2,77	-2,01	-2,01	-2,39	-5,12	-3,21	-4,74	-3,59	-3,63	-3,25	-4,78	-5,16	-1,45	-1,84	-2,98	-2,98
1,0	-7,17	-7,55	-6,41	-5,28	-4,61	-8,05	-6,52	-6,14	-3,77	-3,77	-3,38	-4,91	-7,82	-4,76	-6,67	-4,76	-5,53	-3,61	-5,53	-6,29	-2,96	-3,73	-3,73	-5,26
F _n média																								
esp	F _n (11J)	F _n (12J)	F _n (13J)	F _n (14J)	F _n (21J)	F _n (22J)	F _n (23J)	F _n (24J)	F _n (31J)	F _n (32J)	F _n (33J)	F _n (34J)	F _n (41J)	F _n (42J)	F _n (43J)	F _n (44J)	F _n (51J)	F _n (52J)	F _n (53J)	F _n (54J)	F _n (61J)	F _n (62J)	F _n (63J)	F _n (64J)
0,2	2,02	1,96	1,91	1,90	1,94	2,06	2,13	2,07	2,02	2,08	2,36	2,17	1,81	2,14	1,96	2,36	1,55	1,36	1,10	0,97	2,04	2,04	2,03	2,17
0,4	1,99	1,49	1,58	1,42	1,66	1,53	1,32	1,51	1,97	1,86	1,97	1,68	0,90	1,35	1,02	1,22	2,06	2,00	1,90	1,99	1,94	1,86	1,76	1,82
0,6	1,66	0,84	1,33	1,52	1,47	1,31	1,15	1,29	1,47	1,18	1,17	0,91	0,52	1,32	0,84	1,63	1,53	1,56	1,41	1,35	1,54	1,46	1,18	1,25
0,8	1,49	0,46	0,89	0,87	0,99	0,68	0,37	0,66	0,99	1,06	0,69	0,74	-0,20	0,56	0,11	0,89	0,45	0,92	0,21	0,64	1,65	1,03	0,81	0,49
1,0	1,33	-0,14	0,27	0,53	0,57	-0,70	-0,79	-0,33	1,35	0,35	-0,12	-0,51	-1,47	0,14	-0,70	0,43	-0,02	0,41	0,40	-0,04	1,39	0,56	0,13	-0,40
F _p máx.																								
esp	F _n (11J)	F _n (12J)	F _n (13J)	F _n (14J)	F _n (21J)	F _n (22J)	F _n (23J)	F _n (24J)	F _n (31J)	F _n (32J)	F _n (33J)	F _n (34J)	F _n (41J)	F _n (42J)	F _n (43J)	F _n (44J)	F _n (51J)	F _n (52J)	F _n (53J)	F _n (54J)	F _n (61J)	F _n (62J)	F _n (63J)	F _n (64J)
0,2	3,86	3,86	3,48	3,86	3,79	3,40	3,98	3,40	3,12	3,50	5,03	3,50	2,89	4,42	4,80	5,56	3,58	3,19	3,19	3,58	4,04	3,27	3,27	3,27
0,4	4,59	3,82	3,82	4,59	3,04	3,04	3,42	4,19	4,95	3,42	4,19	3,81	2,73	3,88	3,12	3,12	5,49	3,19	3,19	3,19	4,57	3,81	3,81	3,81
0,6	5,66	3,75	4,13	5,28	3,77	3,00	3,77	4,15	3,50	3,12	3,88	3,50	3,27	4,04	3,65	4,80	4,72	5,49	5,11	4,34	4,11	4,49	4,88	5,64
0,8	6,46	3,79	4,17	4,55	4,11	3,35	3,73	4,49	3,35	3,73	3,35	3,35	4,05	4,44	4,05	4,44	3,25	5,16	3,63	5,55	5,05	4,67	5,05	4,67
1,0	8,13	3,92	6,98	6,22	5,34	3,04	3,81	4,19	3,50	2,73	4,26	3,50	2,89	5,18	4,80	5,18	5,18	3,65	4,42	5,95	5,07	4,30	4,69	3,16
Força Normal Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - juvenil (γ)40°																								
F _n min.																								
esp	F _n (11J)	F _n (12J)	F _n (13J)	F _n (14J)	F _n (21J)	F _n (22J)	F _n (23J)	F _n (24J)	F _n (31J)	F _n (32J)	F _n (33J)	F _n (34J)	F _n (41J)	F _n (42J)	F _n (43J)	F _n (44J)	F _n (51J)	F _n (52J)	F _n (53J)	F _n (54J)	F _n (61J)	F _n (62J)	F _n (63J)	F _n (64J)
0,2	-2,16	-2,16	-2,16	-2,15	-1,59	-1,38	-1,17	-1,79	-1,81	-1,40	-0,58	-0,19	-1,42	-1,83	-1,42	-1,42	-1,89	-1,48	-1,89	-1,48	-2,41	-2,82	-4,06	-3,64
0,4	-5,09	-5,09	-5,70	-7,34	-3,97	-3,97	-3,97	-4,39	-5,48	-4,65	-4,24	-4,65	-4,22	-4,22	-5,46	-4,63	-4,76	-4,76	-4,35	-3,93	-2,74	-3,97	-5,21	-4,39
0,6	-8,09	-10,77	-9,53	-10,53	-5,87	-6,28	-7,10	-7,10	-5,62	-6,45	-5,62	-5,62	-9,64	-8,40	-9,64	-9,23	-8,26	-7,02	-9,08	-7,43	-4,16	-4,98	-7,04	-7,45
0,8	-8,78	-13,31	-11,46	-11,07	-9,99	-9,16	-9,99	-13,69	-16,04	-13,16	-12,75	-14,81	-10,48	-10,89	-12,54	-12,95	-11,59	-10,36	-12,83	-10,36	-6,63	-7,87	-10,34	-9,93
1,0	-11,82	-17,79	-14,09	-14,51	-13,04	-14,27	-15,10	-14,68	-14,52	-12,87	-11,64	-12,87	-16,08	-13,61	-15,67	-14,02	-14,60	-10,89	-12,95	-10,89	-8,42	-8,83	-11,31	-11,72
F _n média																								
esp	F _n (11J)	F _n (12J)	F _n (13J)	F _n (14J)	F _n (21J)	F _n (22J)	F _n (23J)	F _n (24J)	F _n (31J)	F _n (32J)	F _n (33J)	F _n (34J)	F _n (41J)	F _n (42J)	F _n (43J)	F _n (44J)	F _n (51J)	F _n (52J)	F _n (53J)	F _n (54J)	F _n (61J)	F _n (62J)	F _n (63J)	F _n (64J)
0,2	0,62	0,51	0,61	0,51	0,33	0,30	0,40	0,3,																

Tabela a8. Valores de força de corte normal – Fn (N/mm) em corte ortogonal 90-90, direção radial, em função da espessura de corte (mm), ângulo de saída (γ). Espécie de *Pinus taeda* – madeira adulta saturada.

Força Normal Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - adulta (γ)20°																	
Fn mín.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	0,38	-0,06	0,83	0,38	0,15	0,15	0,15	-0,29	-0,02	0,42	0,42	0,86	0,66	1,10	1,10	1,10	0,79
0,2	-1,71	-1,93	-1,05	-2,15	-0,29	-0,73	-1,17	-1,17	-0,02	-0,02	-0,02	0,42	-2,40	-0,64	-0,64	-1,08	-0,46
0,4	-2,85	-3,95	-2,63	-3,07	-1,63	-2,96	-2,96	-2,07	-1,06	-1,06	-1,50	-0,62	-3,75	-1,99	-2,43	-2,43	-1,50
0,6	-4,32	-5,43	-4,55	-5,21	-2,56	-3,00	-4,32	-3,44	-2,96	-2,52	-3,40	-2,96	-6,07	-3,86	-4,74	-4,74	-2,40
0,8	-5,76	-5,98	-5,10	-6,42	-3,35	-5,12	-6,00	-3,79	-5,14	-4,70	-4,26	-3,82	-7,41	-4,77	-7,41	-6,09	-3,55
1,0																	
Fn média.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	2,00	2,07	1,94	1,87	2,01	2,26	2,22	2,19	2,03	2,06	2,16	2,38	2,09	2,28	2,34	2,39	2,48
0,2	1,27	1,21	1,58	1,26	2,22	2,13	2,05	2,14	1,74	1,83	1,85	2,09	1,16	1,61	1,71	1,88	1,68
0,4	0,96	0,71	1,15	0,87	1,25	1,34	1,44	1,41	1,26	1,26	1,12	1,92	0,59	1,01	0,99	1,35	1,28
0,6	-0,06	-0,26	0,40	-0,12	1,11	1,05	1,12	1,24	0,04	0,33	0,25	1,19	-0,40	0,16	0,28	0,66	0,59
0,8	-0,82	-0,99	-0,17	-0,49	0,18	0,25	0,21	0,73	-1,42	-0,70	-0,21	0,66	-1,32	-0,82	-0,94	0,06	0,01
1,0																	
Fn máx.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	3,47	3,47	3,03	4,36	4,13	4,13	5,01	4,57	4,39	3,95	3,51	3,51	3,75	3,75	3,75	3,75	4,32
0,2	3,37	3,37	4,69	3,81	4,57	4,57	4,57	4,57	3,95	3,95	3,95	4,39	3,33	3,77	4,21	4,21	3,95
0,4	3,77	3,55	5,10	4,44	4,55	4,10	4,55	4,55	3,80	3,80	3,80	4,68	3,75	3,75	4,63	4,63	3,80
0,6	3,18	2,96	4,50	3,40	4,50	4,50	4,50	4,06	4,99	3,66	3,66	5,87	4,08	3,64	4,52	4,08	3,77
0,8	3,29	2,41	3,95	3,95	3,27	3,71	4,15	3,71	2,36	3,24	3,69	4,57	3,18	3,62	4,06	4,50	3,51
1,0																	
Força Normal Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - adulta (γ)30°																	
Fn mín.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	0,04	0,04	0,04	-0,73	0,73	0,54	0,54	0,54	0,82	0,82	1,20	1,20	0,59	0,21	0,98	0,98	-1,78
0,2	-1,91	-3,06	-1,91	-1,91	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78	-0,40	-0,02	-0,40	-0,78	-1,47	-1,47	-1,85	-1,47	0,90
0,4	-1,99	-2,75	-1,99	-2,37	-1,20	-1,97	-1,97	-1,97	-2,24	-2,24	-2,24	-3,00	-2,08	-2,08	-3,61	-1,32	-1,40
0,6	-3,86	-4,63	-3,48	-5,01	-2,39	-3,92	-3,92	-3,92	-2,01	-2,01	-2,39	-4,30	-2,83	-3,98	-6,65	-4,36	-4,02
0,8	-4,11	-7,17	-6,02	-6,79	-4,23	-6,52	-5,76	-4,61	-4,53	-4,15	-6,06	-7,59	-4,38	-5,91	-8,59	-6,29	-4,00
1,0																	
Fn média.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	1,68	1,73	1,80	1,45	2,35	2,28	2,27	2,28	2,29	2,39	2,42	2,45	2,13	2,07	2,22	2,37	1,24
0,2	1,43	1,18	1,43	1,45	1,58	1,57	1,47	1,74	1,45	1,59	1,38	1,59	0,90	0,92	0,85	1,21	2,11
0,4	1,13	0,95	1,23	1,13	1,39	1,21	1,31	1,51	0,68	0,73	0,56	1,10	1,02	0,61	0,55	1,15	1,21
0,6	0,23	0,27	0,27	0,14	0,73	0,45	0,49	1,00	0,38	0,43	0,22	0,57	0,64	0,01	-0,63	0,62	0,38
0,8	-0,40	-0,80	-0,31	-0,94	-0,60	-0,66	-0,50	0,18	-1,25	-1,03	-1,24	-0,66	-0,58	-0,85	-1,46	-0,12	-0,32
1,0																	
Fn máx.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	3,48	3,86	3,86	7,69	3,79	3,98	3,79	4,17	3,88	3,88	3,88	4,26	4,42	3,27	4,80	4,42	3,58
0,2	3,82	3,82	3,82	5,74	3,81	3,42	3,81	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42	2,73	2,73	2,73	3,12	3,19
0,4	3,75	3,37	3,75	3,75	3,77	3,77	3,77	3,77	3,50	3,88	3,50	3,12	3,65	3,27	4,04	4,04	3,58
0,6	3,40	3,40	3,79	3,79	3,73	3,73	4,11	3,35	3,73	3,35	4,11	3,35	3,67	3,29	2,91	5,20	3,63
0,8	2,77	3,54	4,30	3,54	3,42	4,19	4,19	3,81	3,50	3,50	3,12	4,26	2,89	3,27	2,89	4,42	2,51
1,0																	
Força Normal Pinus Taeda - Corte 90-90 radial - adulta (γ)40°																	
Fn mín.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	-2,57	-2,57	-2,37	-2,37	-1,79	-1,79	-1,59	-1,59	-1,40	-1,81	-1,40	-1,40	-1,42	-1,83	-1,42	-1,01	-1,89
0,2	-6,12	-6,12	-5,91	-5,70	-4,39	-4,39	-4,80	-3,97	-5,07	-4,24	-4,65	-3,83	-5,05	-5,05	-5,46	-4,63	-4,35
0,4	-9,53	-10,56	-9,74	-9,53	-6,28	-7,10	-7,52	-6,28	-6,03	-6,03	-5,62	-6,03	-7,58	-7,99	-10,05	-8,40	-8,26
0,6	-10,64	-11,67	-11,05	-12,08	-8,34	-10,40	-12,05	-11,22	-14,81	-14,81	-16,04	-14,81	-10,48	-13,37	-13,78	-11,72	-11,18
0,8	-12,85	-14,29	-13,88	-14,91	-11,80	-13,86	-16,33	-14,68	-12,05	-13,28	-13,28	-12,46	-13,61	-15,26	-16,50	-15,26	-11,72
1,0																	
Fn média.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	0,31	0,28	0,38	0,32	0,15	0,29	0,20	0,33	0,40	0,15	0,15	0,33	0,06	0,04	0,32	0,54	-0,15
0,2	-1,81	-1,63	-1,42	-1,67	-0,98	-0,91	-0,93	-0,74	-1,54	-1,53	-1,63	-0,99	-1,62	-1,47	-1,56	-0,68	-1,41
0,4	-3,48	-3,77	-2,84	-3,56	-2,33	-2,36	-2,49	-1,92	-2,06	-2,21	-2,33	-1,90	-3,44	-3,26	-3,68	-2,62	-3,28
0,6	-4,35	-4,36	-4,06	-4,84	-3,62	-3,93	-3,92	-3,67	-8,67	-8,98	-9,39	-7,78	-5,28	-5,01	-5,68	-3,95	-4,77
0,8	-5,83	-6,19	-5,42	-6,61	-5,62	-5,73	-6,25	-5,57	-6,23	-6,73	-6,40	-4,47	-6,64	-6,75	-6,77	-5,44	-5,45
1,0																	
Fn máx.	Fn(11A)	Fn(12A)	Fn(13A)	Fn(14A)	Fn(21A)	Fn(22A)	Fn(23A)	Fn(24A)	Fn(31A)	Fn(32A)	Fn(33A)	Fn(34A)	Fn(41A)	Fn(42A)	Fn(43A)	Fn(44A)	Fn(51A)
esp	2,78	2,57	2,78	2,57	1,92	2,12	1,92	1,92	1,89	1,89	1,89	2,31	1,87	1,46	2,70	2,29	1,81
0,2	1,30	1,50	1,92	1,50	1,79	1,79	2,20	2,20	1,94	1,11	1,11	1,52	1,13	1,54	1,54	1,96	1,42
0,4	1,17	1,17	2,41	1,38	1,54	1,54	1,96	1,54	1,38	0,97	1,38	1,38	0,66	0,25	0,66	1,89	1,22
0,6	0,90	0,90	1,72	0,90	1,13	1,13	1,96	1,54	-1,63	-3,69	-2,45	-1,63	0,64	0,23	1,05	1,87	-0,47
0,8	-0,08	0,33	1,77	1,15	0,56	0,97	1,79	1,38	0,72	-0,51	0,72	1,54	-0,43	-0,43	1,22	2,86	0,23
1,0																	

ANEXO II

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DO DINAMÔMETRO

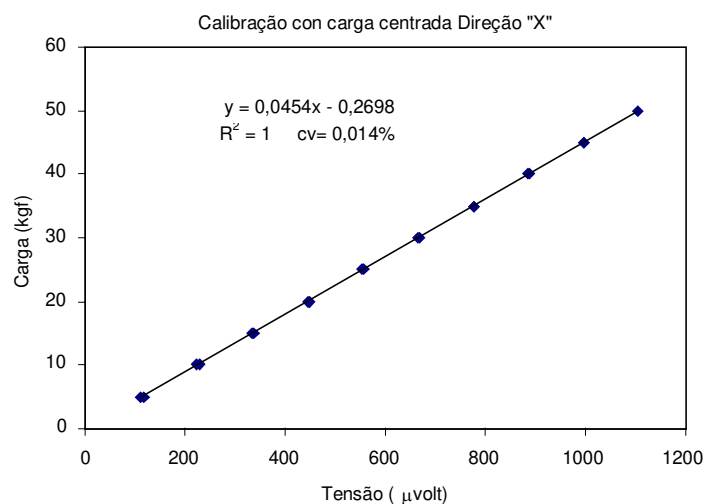
Os resultados apresentados nesse item foram obtidos nos ensaios de calibração, através do sistema de aquisição de dados “MG PLUS”.

CALIBRAÇÃO COM CARGA CENTRADA

Direção “X”

Calibração carga centrada - Direção 'X'			
Carga (kgf)	Leituras nos canais (μ volt)		
	(X)	(Y)	(Z)
5	112	7	7
10	224	2	7
15	334	0	7
20	445	3	5
25	555	6	5
30	666	11	4
35	776	15	4
40	886	20	4
45	996	26	3
50	1106	31	2
45	996	31	5
40	887	30	6
35	776	28	8
30	668	28	9
25	558	25	10
20	448	23	12
15	338	20	13
10	228	17	14
5	119	13	15

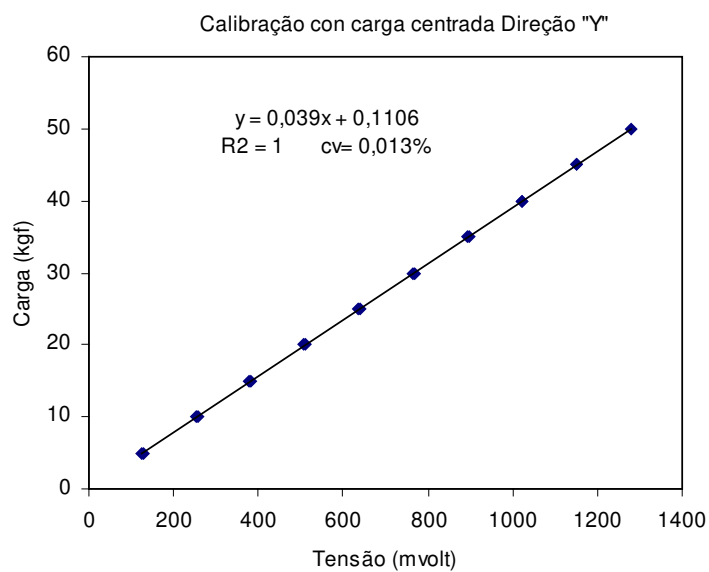
Erros de leitura (μvolt) canais y e z com carregamento na direção 'X'					
Carga direção 'X'	Leitura no canal 'X'	Leitura no canal 'Y'	erro (%)	Leitura no canal 'Z'	erro (%)
5	112	7	6,3	7	6,3
10	224	2	0,9	7	3,1
15	334	0	0,0	7	2,1
20	445	3	0,7	5	1,1
25	555	6	1,1	5	0,9
30	666	11	1,7	4	0,6
35	776	15	1,9	4	0,5
40	886	20	2,3	4	0,5
45	996	26	2,6	3	0,3
50	1106	31	2,8	2	0,2
45	996	31	3,1	5	0,5
40	887	30	3,4	6	0,7
35	776	28	3,6	8	1,0
30	668	28	4,2	9	1,3
25	558	25	4,5	10	1,8
20	448	23	5,1	12	2,7
15	338	20	5,9	13	3,8
10	228	17	7,5	14	6,1
5	119	13	10,9	15	12,6



Direção “Y”

Calibração carga centrada - Direção 'Y'			
Carga (kgf)	Leituras nos canais (μ volt)		
	(X)	(Y)	(Z)
5	6	127	1
10	12	256	3
15	18	384	6
20	24	512	7
25	31	641	9
30	38	767	11
35	43	896	13
40	50	1023	15
45	56	1151	17
50	63	1280	19
45	56	1149	18
40	50	1020	17
35	43	893	15
30	37	764	14
25	31	635	14
20	25	507	11
15	18	378	13
10	11	252	11
5	5	124	9

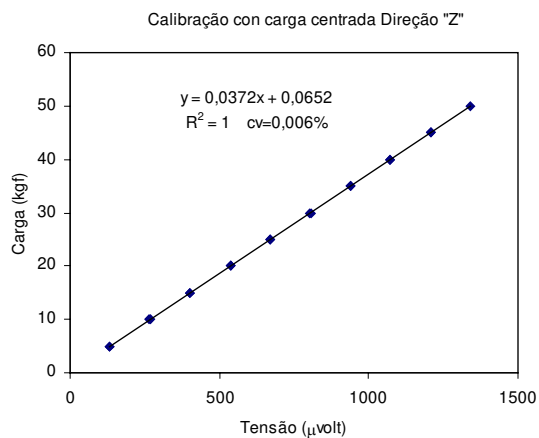
Erros de leitura (μvolt) canais y e z com carregamento na direção 'Y'					
Carga direção 'Y'	Leitura no canal 'X'	erro (%)	Leitura no canal 'Y'	Leitura no canal 'Z'	erro (%)
5	6	4,7	127	1	0,8
10	12	4,7	256	3	1,2
15	18	4,7	384	6	1,6
20	24	4,7	512	7	1,4
25	31	4,8	641	9	1,4
30	38	5,0	767	11	1,4
35	43	4,8	896	13	1,5
40	50	4,9	1023	15	1,5
45	56	4,9	1151	17	1,5
50	63	4,9	1280	19	1,5
45	56	4,9	1149	18	1,6
40	50	4,9	1020	17	1,7
35	43	4,8	893	15	1,7
30	37	4,8	764	14	1,8
25	31	4,9	635	14	2,2
20	25	4,9	507	11	2,2
15	18	4,8	378	13	3,4
10	11	4,4	252	11	4,4
5	5	4,0	124	9	7,3



a) Direção “Z”

Calibração carga centrada - Direção 'Z'			
Carga (kgf)	Leituras nos canais (μ volt)		
	(X)	(Y)	(Z)
5	1	2	134
10	3	7	268
15	7	12	402
20	9	18	536
25	12	25	670
30	14	32	804
35	17	38	939
40	19	45	1072
45	23	51	1206
50	26	58	1342
45	23	53	1206
40	20	47	1073
35	18	40	940
30	15	35	805
25	12	30	670
20	8	25	536
15	6	18	400
10	3	12	266
5	1	8	130

Erros de leitura (μvolt) canais x e y com carregamento na direção 'Z'					
Carga direção 'Z'	Leitura no canal 'X'	erro (%)	Leitura no canal 'Y'	erro (%)	Leitura no canal 'Z'
5	1	0,7	2	1,5	134
10	3	1,1	7	2,6	268
15	7	1,7	12	3,0	402
20	9	1,7	18	3,4	536
25	12	1,8	25	3,7	670
30	14	1,7	32	4,0	804
35	17	1,8	38	4,0	939
40	19	1,8	45	4,2	1072
45	23	1,9	51	4,2	1206
50	26	1,9	58	4,3	1342
45	23	1,9	53	4,4	1206
40	20	1,9	47	4,4	1073
35	18	1,9	40	4,3	940
30	15	1,9	35	4,3	805
25	12	1,8	30	4,5	670
20	8	1,5	25	4,7	536
15	6	1,5	18	4,5	400
10	3	1,1	12	4,5	266
5	1	0,8	8	6,2	130



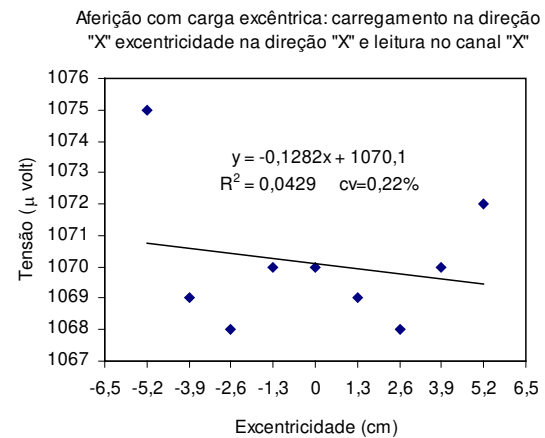
Coefficientes de regressão e fatores de calibração

Direção	Coeficientes de regressão		Fatores de calibração
X	$R^2 = 1$	$cv = 0,013$	0,0454
Y	$R^2 = 1$	$cv = 0,014$	0,0390
Z	$R^2 = 1$	$cv = 0,006$	0,0372

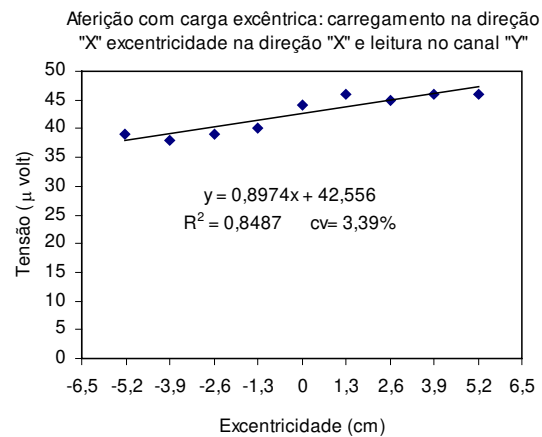
AFERIÇÃO COM CARGA EXCÊNTRICA

a) Carregamento na direção “X” e excentricidade na direção “X”

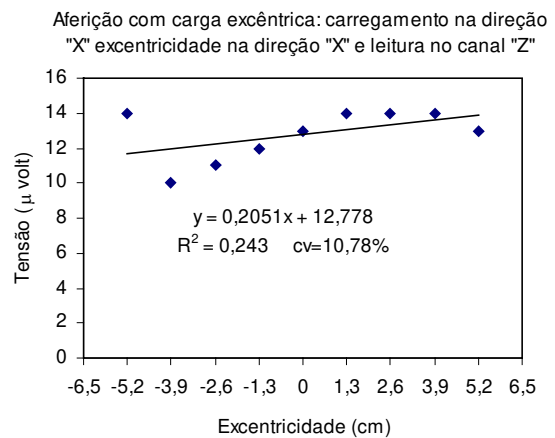
Excentric.	Tensão
(cm)	(μ volt)
-5,2	1075
-3,9	1069
-2,6	1068
-1,3	1070
0	1070
1,3	1069
2,6	1068
3,9	1070
5,2	1072



Excentric.	Tensão
(cm)	(μ volt)
-5,2	39
-3,9	38
-2,6	39
-1,3	40
0	44
1,3	46
2,6	45
3,9	46
5,2	46

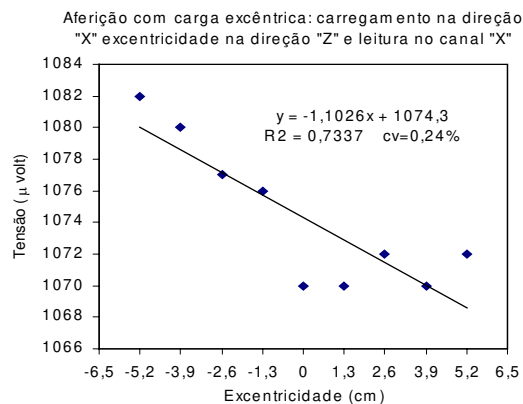


Excentric.	Tensão
(cm)	(μ volt)
-5,2	14
-3,9	10
-2,6	11
-1,3	12
0	13
1,3	14
2,6	14
3,9	14
5,2	13

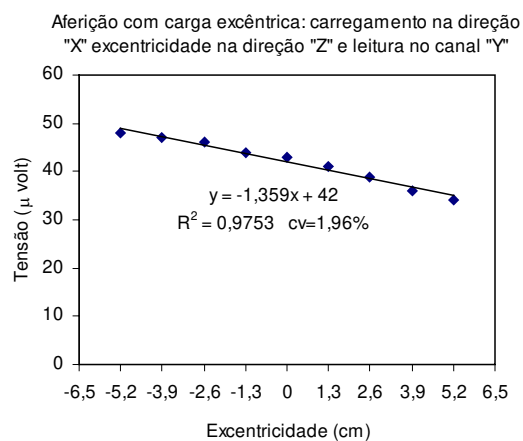


- b) Carregamento na direção “X” e excentricidade na direção “Z”

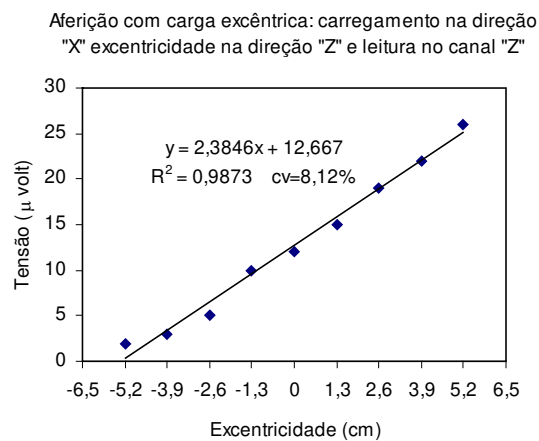
Leitura no canal 'X'	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	1082
-3,9	1080
-2,6	1077
-1,3	1076
0	1070
1,3	1070
2,6	1072
3,9	1070
5,2	1072



Leitura no canal "Y"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	48
-3,9	47
-2,6	46
-1,3	44
0	43
1,3	41
2,6	39
3,9	36
5,2	34

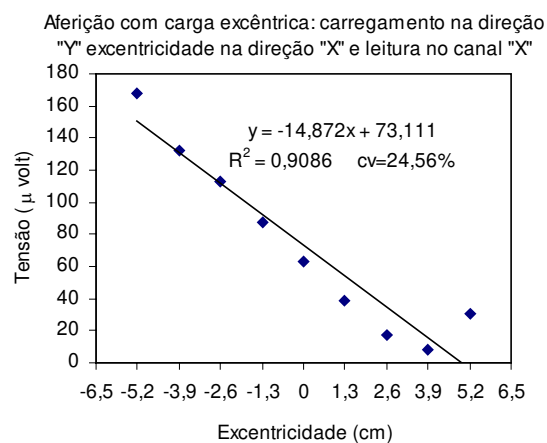


Leitura no canal "Z"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	2
-3,9	3
-2,6	5
-1,3	10
0	12
1,3	15
2,6	19
3,9	22
5,2	26

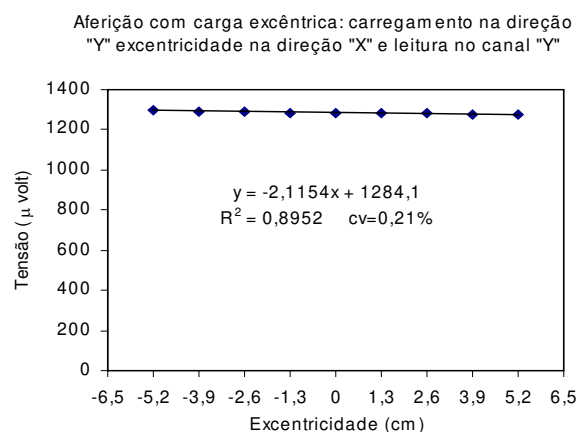


c) Carregamento na direção “Y” e excentricidade na direção “X”

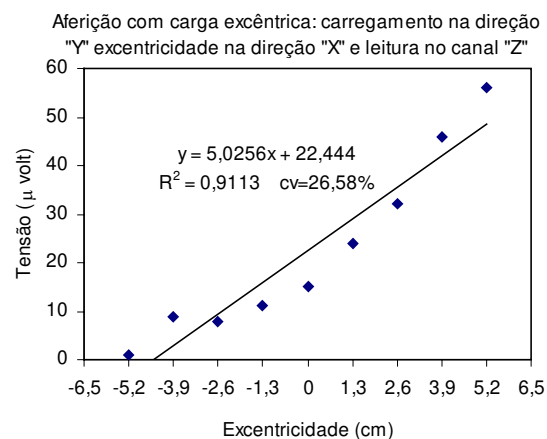
Leitura no canal 'X'	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	168
-3,9	132
-2,6	113
-1,3	87
0	63
1,3	39
2,6	17
3,9	8
5,2	31



Leitura no canal "Y"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	1300
-3,9	1292
-2,6	1288
-1,3	1284
0	1281
1,3	1280
2,6	1280
3,9	1277
5,2	1275

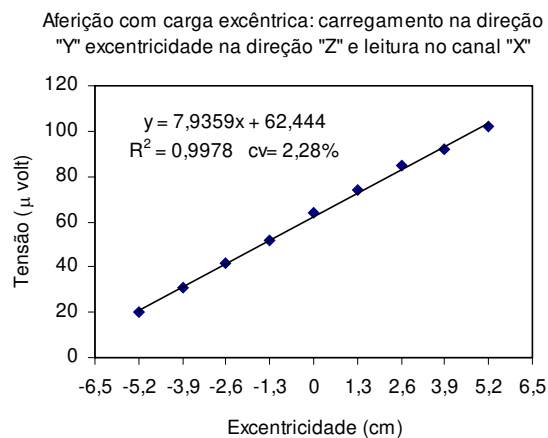


Leitura no canal "Z"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	1
-3,9	9
-2,6	8
-1,3	11
0	15
1,3	24
2,6	32
3,9	46
5,2	56

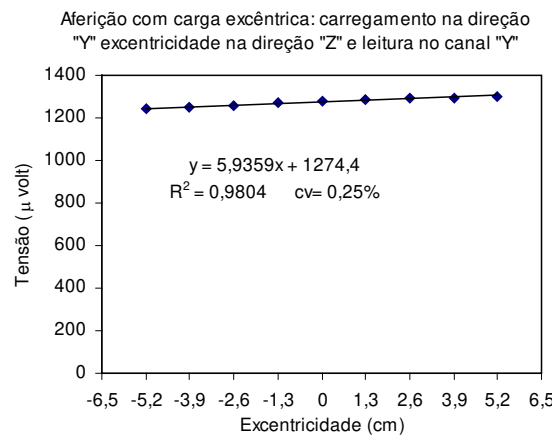


d) Carregamento na direção “Y” e excentricidade na direção “Z”

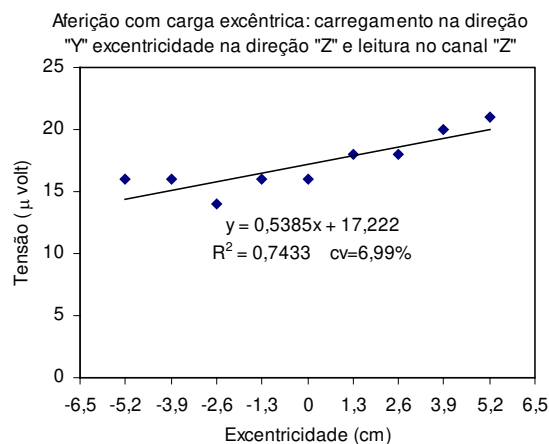
Leitura no canal "X"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	20
-3,9	31
-2,6	42
-1,3	52
0	64
1,3	74
2,6	85
3,9	92
5,2	102



Leitura no canal "Y"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	1241
-3,9	1248
-2,6	1260
-1,3	1269
0	1279
1,3	1285
2,6	1291
3,9	1295
5,2	1302

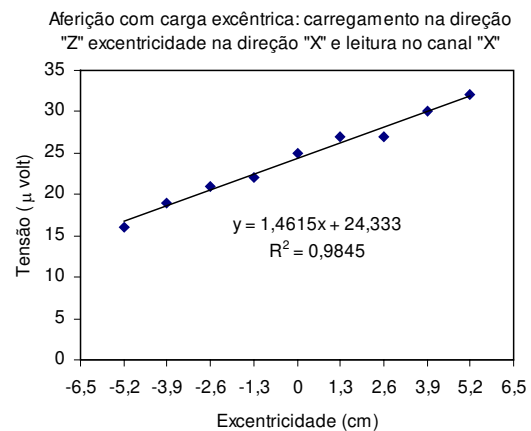


Leitura no canal "Z"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	16
-3,9	16
-2,6	14
-1,3	16
0	16
1,3	18
2,6	18
3,9	20
5,2	21

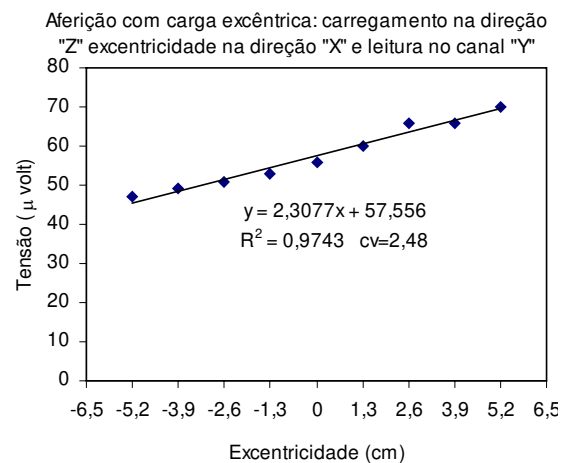


e) Carregamento na direção “Z” e excentricidade na direção “X”

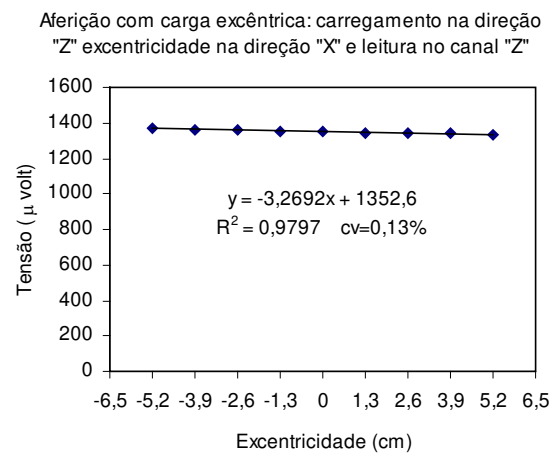
Leitura no canal "X"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	16
-3,9	19
-2,6	21
-1,3	22
0	25
1,3	27
2,6	27
3,9	30
5,2	32



Leitura no canal "Y"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	47
-3,9	49
-2,6	51
-1,3	53
0	56
1,3	60
2,6	66
3,9	66
5,2	70

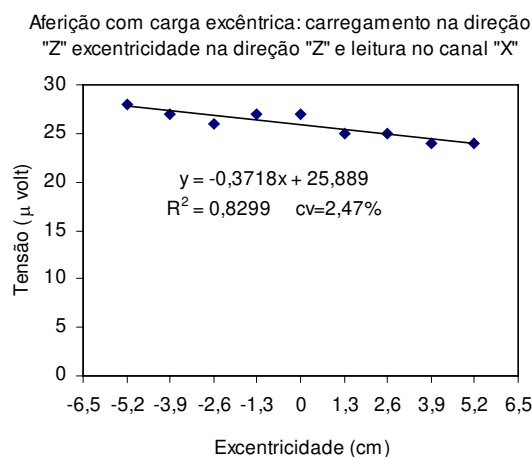


Leitura no canal "Z"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	1370
-3,9	1365
-2,6	1364
-1,3	1356
0	1350
1,3	1347
2,6	1343
3,9	1341
5,2	1337

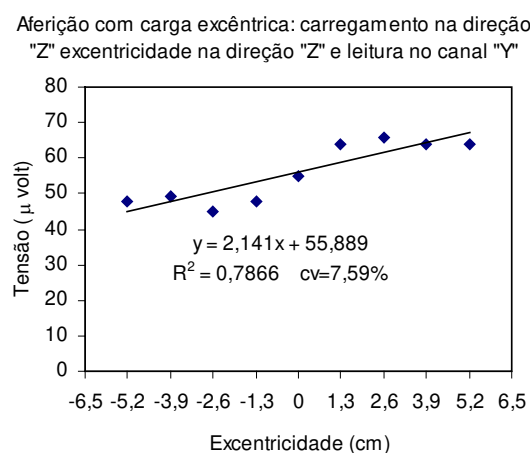


f) Carregamento na direção “Z” e excentricidade na direção “Z”

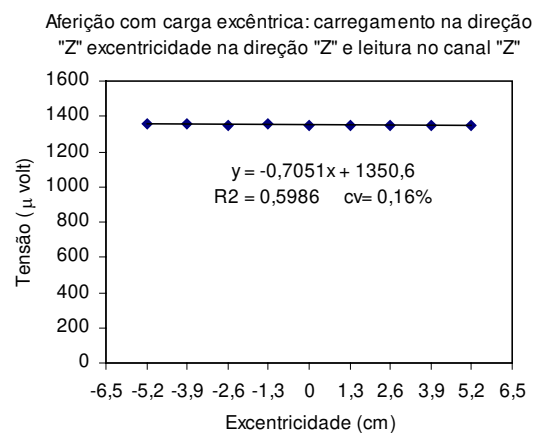
Leitura no canal "X"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	28
-3,9	27
-2,6	26
-1,3	27
0	27
1,3	25
2,6	25
3,9	24
5,2	24



Leitura no canal "Y"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	48
-3,9	49
-2,6	45
-1,3	48
0	55
1,3	64
2,6	66
3,9	64
5,2	64



Leitura no canal "Z"	
Excentric. (cm)	Tensão (μ volt)
-5,2	1356
-3,9	1355
-2,6	1349
-1,3	1353
0	1349
1,3	1348
2,6	1347
3,9	1349
5,2	1349



Cálculo dos erros de leitura nos canais x,y e z para aferição com carga excêntrica.

O erro foi calculado levando em conta a hipótese que o canal correspondente à direção de carregamento deveria apresentar valor de leitura entre a diferença do valor lido com carga centrada e o valor lido com carga excêntrica igual a zero.

- a) Carregamento na direção “X” valores obtidos com carga centrada de 50kgf para leitura de 1070 μ volt para excentricidade nas direções “X” e “Z”.

Erros de leitura (μ volt) nos canais x,y e z para carregamento na direção "X" excentricidade na direção 'X'						
Excentric. (cm)	Leitura no canal 'X'	erro (%)	Leitura no canal 'Y'	erro (%)	Leitura no canal 'Z'	erro (%)
-5,2	1075	0,5	39	3,6	14	1,3
-3,9	1069	-0,1	38	3,6	10	0,9
-2,6	1068	-0,2	39	3,7	11	1,0
-1,3	1070	0,0	40	3,7	12	1,1
0	1070	0,0	44	4,1	13	1,2
1,3	1069	-0,1	46	4,3	14	1,3
2,6	1068	-0,2	45	4,2	14	1,3
3,9	1070	0,0	46	4,3	14	1,3
5,2	1072	0,2	46	4,3	13	1,2

Erros de leitura (μ volt) nos canais x,y e z para carregamento na direção "X" excentricidade na direção 'Z'						
Excentric. (cm)	Leitura no canal 'X'	erro (%)	Leitura no canal 'Y'	erro (%)	Leitura no canal 'Z'	erro (%)
-5,2	1082	1,1	48	4,4	2	0,2
-3,9	1080	0,9	47	4,4	3	0,3
-2,6	1077	0,7	46	4,3	5	0,5
-1,3	1076	0,6	44	4,1	10	0,9
0	1070	0,0	43	4,0	12	1,1
1,3	1070	0,0	41	3,8	15	1,4
2,6	1072	0,2	39	3,6	19	1,8
3,9	1070	0,0	36	3,4	22	2,1
5,2	1072	0,2	34	3,2	26	2,4

- b) - Carregamento na direção “Y” valores obtidos com carga centrada de 50kgf para leitura de 1281 μ volt para excentricidade na direção “X” e 1279 μ volt e para a direção “Z”.

Erros de leitura (μ volt) nos canais x,y e z para carregamento na direção "Y" excentricidade na direção 'X'						
Excentric. (cm)	Leitura no canal 'X'	erro (%)	Leitura no canal 'Y'	erro (%)	Leitura no canal 'Z'	erro (%)
-5,2	168	13,1	1300	1,5	1	0,1
-3,9	132	10,3	1292	0,9	9	0,7
-2,6	113	8,8	1288	0,5	8	0,6
-1,3	87	6,8	1284	0,2	11	0,9
0	63	4,9	1281	0,0	15	1,2
1,3	39	3,0	1280	-0,1	24	1,9
2,6	17	1,3	1280	-0,1	32	2,5
3,9	8	0,6	1277	-0,3	46	3,6
5,2	31	2,4	1275	-0,5	56	4,4

Erros de leitura (μ volt) nos canais x,y e z para carregamento na direção "Y" excentricidade na direção 'Z'						
Excentric. (cm)	Leitura no canal 'X'	erro (%)	Leitura no canal 'Y'	erro (%)	Leitura no canal 'Z'	erro (%)
-5,2	20	1,6	1241	-3,0	16	1,3
-3,9	31	2,4	1248	-2,4	16	1,3
-2,6	42	3,3	1260	-1,5	14	1,1
-1,3	52	4,1	1269	-0,8	16	1,3
0	64	5,0	1279	0,0	16	1,3
1,3	74	5,8	1285	0,5	18	1,4
2,6	85	6,6	1291	0,9	18	1,4
3,9	92	7,2	1295	1,3	20	1,5
5,2	102	8,0	1302	1,8	21	1,6

- a) Carregamento na direção “Z” valores obtidos com carga centrada de 50kgf para leitura de 1350 μ volt para excentricidade na direção “X” e 1349 μ volt e par a direção “Z”.

Erros de leitura (μ volt) nos canais x,y e z para carregamento na direção "Z" excentricidade na direção 'X'						
Excentric. (cm)	Leitura no canal 'X'	erro (%)	Leitura no canal 'Y'	erro (%)	Leitura no canal 'Z'	erro (%)
-5,2	16	1,2	47	3,5	1370	1,5
-3,9	19	1,4	49	3,6	1365	1,1
-2,6	21	1,6	51	3,8	1364	1,0
-1,3	22	1,6	53	3,9	1356	0,4
0	25	1,9	56	4,1	1350	0,0
1,3	27	2,0	60	4,4	1347	-0,2
2,6	27	2,0	66	4,9	1343	-0,5
3,9	30	2,2	66	4,9	1341	-0,7
5,2	32	2,4	70	5,2	1337	-1,0

Erros de leitura (μ volt) nos canais x,y e z para carregamento na direção "Z" excentricidade na direção 'Z'						
Excentric. (cm)	Leitura no canal 'X'	erro (%)	Leitura no canal 'Y'	erro (%)	Leitura no canal 'Z'	erro (%)
-5,2	28	2,1	48	3,6	1356	0,5
-3,9	27	2,0	49	3,6	1355	0,4
-2,6	26	1,9	45	3,3	1349	0,0
-1,3	27	2,0	48	3,6	1353	0,3
0	27	2,0	55	4,1	1349	0,0
1,3	25	1,9	64	4,7	1348	-0,1
2,6	25	1,9	66	4,9	1347	-0,1
3,9	24	1,8	64	4,7	1349	0,0
5,2	24	1,8	64	4,7	1349	0,0

Escolha da direção de leitura da força principal

A calibração com carga centrada e aferição com carga excêntrica permitiram analisar a precisão de leitura e a influência da excentricidade. A direção de leitura da força paralela será escolhida como aquela que apresente maior precisão.

A curva de calibração expressa a relação de linearidade entre as variáveis cargas e tensão. Sendo assim, os parâmetros da reta e calibração, coeficiente de determinação (R^2) e

coeficiente de variação (cv) podem ser utilizados para a comparação da direção de maior precisão de leitura.

A influência da excentricidade na leitura pode ser feita através das diferenças obtidas na calibração com carga centrada e carga excêntrica, bem como na avaliação da significância das leituras em canais diferentes da direção de aplicação do carregamento, uma vez que, caso o dinamômetro estivesse perfeitamente executado, esses valores seriam próximos de zero.

Com base nas tabelas e gráficos obtidos nos resultados da calibração, verifica-se que os coeficientes de determinação obtidos para todas as direções foram próximos de 1 ou seja, elevada correlação.

A calibração com carga centrada na direção Z apresentou um menor coeficiente de variação (cv= 0,006%) da reta de calibração, no entanto, mostrou-se muito sensível a excentricidade, tanto quando a excentricidade de carregamento era na direção X quando na direção Z.

Devido ao aspecto construtivo do dinamômetro, não é possível a leitura da força principal de corte na direção Y, pois o deslocamento da ferramenta de corte seria perpendicular ao dinamômetro indo de encontro ao mesmo. Sendo assim, a direção Y é definida para leitura da força de corte normal.

Optou-se pela adoção da direção X, direção para a leitura da força paralela a qual apresentou maior precisão de leitura, ficando a direção Z para a leitura da força lateral.