

UNESP

Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá

**DESEMPENHO DO STELLITE COMO MATERIAL DE FERRAMENTA
NO SERRAMENTO DA MADEIRA**

**Guaratinguetá
2011**

WALDEMAR GEHRING JUNIOR

DESEMPENHO DO STELLITE COMO MATERIAL DE FERRAMENTA
NO SERRAMENTO DA MADEIRA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na Área de Materiais Lignocelulósicos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Guaratinguetá
2011

Gehring Junior, Waldemar

G311d O desempenho do stellite como material de ferramenta no serramento da madeira / Waldemar Gehring Junior – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
106 f : il.
Bibliografia: f. 96-99

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof Dr Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

1. Processamento de madeira I. Título

CDU 674.02

WALDEMAR GEHRING JUNIOR

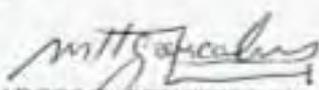
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

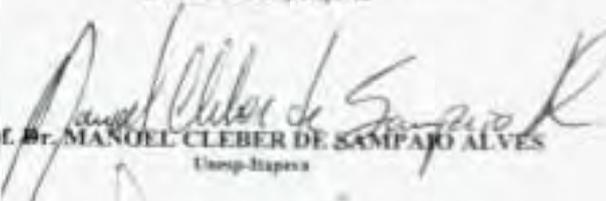
PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: MATERIAIS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MARCOS TADEU TIBURCIO GONÇALVES
Orientador / Unesp-Itapetina


Prof. Dr. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES
Unesp-Itapetina


Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI
Unesp-Itapetina

Agosto de 2011

DADOS CURRICULARES

WALDEMAR GEHRING JUNIOR

NASCIMENTO	02.07.1964 – ITAPEVA / SP
FILIAÇÃO	Waldemar Gehring Irma Santos de Mattos Gehring
1979/1982	Técnico em Mineração – ETE DR Demetrio Azevedo Jr. – Itapeva – SP.
1984/1995	Engenheiro de Produção, Mecânica. Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo
1995/2001	Professor Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza– área de Metalurgia Itapeva – SP.
1996/2001	Engenheiro da Qualidade – Setor de auto peças
2001/2011	Engenheiro de Produção em indústrias madeireiras
2007/2010	Professor Engenharia Industrial Madeireira Unesp - Itapeva – SP.
2009/2011	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do <i>Campus</i> de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

A Maria Inês, Lucas e Frederico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor pela graça em poder usufruir de saúde e da vida.

Agradeço a todos aqueles que me incentivaram a dar prosseguimento no presente trabalho.

Agradeço aos meus pais e irmãos.

Ao professor Marcos Tadeu, orientador e amigo.

Aos professores e mestres da pós da Unesp.

A USP de São Carlos, seu corpo docente e funcionários.

Aos amigos ímpares da pós.

Aos funcionários da UNESP - Itapeva, que sempre me ajudaram.

Aos alunos que com sua atenção e ouvido me deram força para evoluir.

Aos empresários que mostraram caminhos e possibilidades.

A família Sguario.

A empresa Orsa Florestal e seu corpo executivo.

Aos Laminadores e afiadores da serraria de Munguba da Orsa Florestal.

Aos que não citei mas que serão lembrados.

Tudo se fala das águas que destroem, mas nada se
fala das margens que as oprimem.

Bertolt Brecht.

GEHRING JUNIOR, W. **Desempenho do Stellite como material de ferramenta no serramento da madeira.** 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise de parâmetros para a seleção de material de ferramenta de corte indicando o uso do Stellite como alternativa para obter melhor produtividade nas serrarias de desdobro de madeiras no Brasil. Para tanto, estudou-se as inter relações entre as propriedades físico químicas de espécies de madeira tropical e o processamento mecânico de desdobro das mesmas, além das origens do desgaste dos materiais empregados como ferramenta de corte. Foram realizados experimentos para determinar as características de densidade básica, teor de sílica e acidez de algumas espécies de madeiras tropicais. As espécies estudadas foram: Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke), Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier), Itaúba (*Mezilaurus lindaviana* Schwacke & Mez), Mandioqueira lisa (*Qualea albiflora* Warm.), Mandioqueira escamosa (*Qualea paraensis* Ducke) e Quaruba fissurada (*Vochysia maxima* Ducke). Para tais experimentos, as amostras foram colhidas e gerenciadas nas regras do manejo sustentável. Após a caracterização das espécies e análise do grau de abrasividade das mesmas, foi escolhida a espécie “Maçaranduba” para os testes de desempenho em processos de usinagem e, nas condições de corte e processamento utilizadas, relata-se de forma comparativa os aspectos teóricos citados na revisão bibliográfica. Como resultado, pode-se comprovar que o material Stellite apresentou desempenho superior relativo ao desgaste e avarias, quando comparado com outros materiais como o metal duro, além de demonstrar um efetivo ganho de produtividade no serramento de toras da madeira de maçaranduba.

PALAVRAS-CHAVE: Processamento da madeira. Ferramenta de corte. Stellite.

GEHRING JUNIOR, W. **Performance of Stellite alloy as cutting tool material for wood sawing.** 2011. 106 pages. Dissertation (Master's degree in Mechanical Engineering)– Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

This study presents an analysis of selection parameters for cutting tool materials, indicating Stellite alloy as a substitute to improve sawmill productivity in Brazil. For that purpose, it was studied the interrelationship between the physical and chemical properties of tropical wood and the wood cutting mechanical process, as well as the origins of wear in cutting tool materials. Some tropical woods were tested for specific gravity, silica content and acidity. The following species were studied: Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke), Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier), Itaúba (*Mezilaurus lindaviana* Schwacke & Mez), Mandioqueira lisa (*Qualea albiflora* Warm.), Mandioqueira escamosa (*Qualea paraensis* Ducke) e Quaruba fissurada (*Vochysia maxima* Ducke). For those experiments, the samples were collected and processed following sustainable management practices. After characterization and analysis of abrasion degree of those species, the *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier was selected for the machining process performance tests. Under the cutting and processing conditions established, the theoretical aspects cited in the references are comparatively reported. As a result, it was possible to demonstrate that the Stellite alloy displayed better wear and tear performance when compared with other materials such as hard metal, besides demonstrating effective productivity gain when sawing *Manilkara huberi* (Maçaranduba) wood.

KEYWORDS: Wood sawing. Cutting tools. Stellite alloy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Relevância e justificativa.....	12
1.2 Objetivos.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Movimentos e relações geométricas no processo de usinagem.....	16
2.2 Sistemas de corte da madeira.....	20
2.3 Serramento da madeira por serra de fita.....	22
2.3.1 Formação do cavaco.....	22
2.3.2 Condições de usinagem.....	24
2.3.3 Grandezas de corte.....	26
2.3.4 Esforços de corte.....	28
2.4 Geometria das ferramentas para serramento da madeira por serra de fita.....	30
2.4.1 Fatores que influenciam a escolha do dente.....	31
2.4.2 Ângulos da cunha cortante.....	32
2.4.3 Largura e espessura das lâminas de serra fita.....	35
2.4.4 Perfil dos dentes de serra fita.....	36
2.5 Materiais para ferramentas de corte.....	43
2.6 Serramento de madeiras por serra de fita.....	52
2.7 Desgaste de ferramenta de corte.....	60
2.8 Aplicação do Stellite em serras de fita.....	69
3 MATERIAIS E MÉTODO.....	73
3.1 Escolha das espécies de madeira.....	73
3.2 Método de cubagem das toras.....	74
3.3 Determinação da densidade básica.....	75
3.4 Determinação do teor de sílica.....	76
3.5 Determinação do pH e condutividade elétrica.....	78
3.6 Procedimento realizado para escolha da espécie para o experimento de usinagem.....	79

3.7	Preparação da ferramenta para os ensaios de usinagem	79
3.8	Equipamentos de usinagem e parâmetros de corte utilizados	81
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1	Ensaio físico e químico das espécies selecionadas.....	83
4.2	Resultados dos ensaios de usinagem	86
4.2.1	Verificação dos parâmetros da ferramenta e do processo.....	86
4.2.2	Teste de produtividade e análise da qualidade.....	89
5	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A.....	100

1 INTRODUÇÃO

A indústria madeireira no Brasil passa por situações complicadas, em decorrência do alto valor da matéria prima, da dificuldade em obtê-la (associada aos concorridos mercados compradores bastante exigentes), do câmbio desfavorável, da falta de mão de obra capacitada e de especialistas em preparação de ferramentas dentro das unidades fabris. Este quadro é significativamente observável na região norte do país.

Nessa região a licença anual para operar com certificação ou os documentos florestais é um processo difícil e caro de se obter, não apenas por razões financeiras, mas também por questões de legislação e de capacitação de mão de obra.

Na região sul do Brasil, o processamento da madeira de reflorestamento exige das empresas melhor operação em produtividade e desempenho, tendo em vista os crescentes custos com mão de obra e outros insumos da indústria madeireira.

De acordo com Soares (2011) mudanças sociais, políticas, econômicas e ambientais de grande importância ocorrendo nos últimos meses em várias partes do mundo, têm provocado alterações, no comércio internacional em diferentes formatos e intensidade.

Dentre estas, destacam-se o tsunami no Japão que tem trazido recessão econômica ao país; a tensão política em cadeia nos países árabes, que tem levado o preço do petróleo a patamares preocupantes; o aumento das taxas de juros em diversos países ricos e emergentes, que tem provocado a queda das taxas de crescimento destes; dentre outras.

Paradoxalmente, os impactos dessas mudanças têm causado, ao mesmo tempo, redução e aumento no consumo em mercados diferentes.

A atual distribuição da pauta de exportações brasileira como um dos fatores para os desempenhos recordes. A distribuição do comércio exterior brasileiro não é mais concentrada como era há quinze anos, em que três grandes parceiros concentravam mais de 60% das exportações.

Se de um lado, no que refere ao mercado externo, temos novos consumidores bastante exigentes, do outro temos a indústria da construção civil no Brasil que passa

por excelente momento, emergindo como um potencial mercado comprador que também compete no mercado da compra da madeira de origem sustentável.

Nesse contexto, a forma racional e otimizada de usinagem da madeira, desde o primeiro processo de desdobro é fundamental para toda a cadeia produtiva, tendo em vista a redução de desperdícios e geração de resultados que possam justificar a permanência da indústria madeireira como fonte promissora de empregos e renda em diversas regiões do Brasil. Nessa perspectiva, poderá fornecer matéria prima de qualidade para o mercado consumidor que vai desde a construção civil até a indústria moveleira.

1.1 Relevância e justificativa

Diversos fatores devem ser levados em conta para se buscar a melhor eficiência no processo de usinagem para desdobro de toras de madeiras.

Para a melhor produtividade das serrarias, existem fatores que podem impactar diretamente no resultado como: o aumento da velocidade de alimentação das toras, o aumento do rendimento e a diminuição de horas paradas, fatores estes relativos ao conjunto de equipamentos que formam o sistema de corte. Aliado aos fatores operacionais, a correta escolha da ferramenta, ângulos de corte, geometria da garganta dos dentes, velocidades de corte serão responsáveis pelo desempenho e resultados esperados.

No processo de usinagem da madeira, o atrito entre a ferramenta de corte e a madeira gera calor e perda do gume cortante. A escolha de um melhor material para a aplicação em gume cortante é uma premissa importante pois o trabalho efetivo de uma ferramenta (menos paradas para troca e afiação) irá impactar diretamente em maior produtividade.

O rendimento de uma serraria é a relação entre o volume de toras serradas em um período e o volume de madeira serrada obtido deste material. Os processos tecnológicos possíveis para a otimização são conhecidos, tais como digitalização de imagens e sistemas integrados de otimização e posicionamento do plano de corte, porém, estes além de caros ainda necessitam de um conjunto de equipamentos que

funcionem perfeitamente, como descascadores e softwares para otimização integrados ao carro porta toras e posicionamento da serra fita. Equipamentos estes muito longe da realidade nacional.

Assim, não focado em intervenções de automação e de alta tecnologia, sabe-se que as inter-relações que afetam diretamente a eficiência do corte podem ser divididas em parâmetros quantificáveis fixos e variáveis.

Os parâmetros fixos do serramento por serra de fita são o diâmetro do volante do equipamento a ser utilizado e a altura de corte. Os parâmetros variáveis podem ser descritos como a espessura da serra, a folga lateral da serra, a velocidade de corte, o passo da serra, a velocidade de alimentação da tora e a área da garganta dos dentes da ferramenta.

A partir desses parâmetros fixos e variáveis, tem-se os resultados quantificáveis para o processo como: a espessura de corte, a velocidade de corte, a alimentação por dente e o índice de ocupação da garganta deste.

Como consequência, o rendimento, a acuracidade do corte, o acabamento superficial, o desgaste do dente, a produtividade e a potência necessária serão os resultados provenientes da correta escolha destes.

No processo de serramento da madeira, o desvio causado por ferramentas mal projetadas ou com deficiências em sua manutenção, faz com que as tolerâncias geométricas e as sobre medidas para acerto de especificações e erros de corte, gerem impactos diretos nos números de conversão e conseqüentemente nos resultados financeiros das indústrias madeireiras.

No corte das madeiras com muita tensão de crescimento a influência da ferramenta é tão impactante quanto a escolha do padrão de corte, porém uma ferramenta adequada poderá garantir maior tempo efetivo de corte e conseqüentemente, dar ao serrador melhor condição para posicionar com mais precisão e eleger o plano de corte que menos irá impactar em tensões de crescimento e no respectivo arqueamento da madeira serrada.

O tipo de madeira serrada e seus constituintes internos farão com que muitas vezes aconteça um desgaste prematuro da aresta de corte, gerando perda da capacidade de corte da ferramenta e conseqüente necessidade de troca.

Desse modo, a escolha de um material para a ferramenta de corte que resulte melhores resultados no desempenho da indústria madeireira é um fator importante e decisivo.

Entre as características dos diversos materiais possíveis, suas propriedades mecânicas a alta temperaturas e resistência aos desgastes nessas condições, encontra-se a liga metálica Stellite como uma opção ao uso como ferramenta de corte, porém, as condições de aplicação deste devem ser estudadas e o projeto da ferramenta de corte e as condições de aplicação bem compreendidos.

O material Stellite é uma liga de cobalto e cromo, não ferrosa, a qual contém elevada resistência ao desgaste, mantendo sua dureza a altas temperaturas.

Seu baixo ponto de fusão, quando comparado com outros materiais permite que o mesmo possa ser conformado em oficinas de afiação.

Trata-se de um material muito utilizado no processamento da madeira, exceto na realidade brasileira e principalmente no norte do país.

No sul do Brasil serrarias desdobram madeiras de pinus usando o “stellite” como material do gume cortante devido a presença de fatores humanos e de tecnologia citados acima.

1.2 Objetivos

O presente trabalho possui como objetivo geral proporcionar uma contribuição científica e tecnológica sobre o processo de usinagem de toras, podendo auxiliar para que melhorias possam ser implantadas nas serrarias do Brasil, tendo como resultado melhor produtividade e qualidade de seus produtos.

Nesse contexto, a meta principal é entender as causas do desgaste das ferramentas na usinagem da madeira.

Ao compreendermos as origens do desgaste, pode ser proposto quais os materiais aplicáveis em gumes cortantes de ferramentas de corte e qual seria o efeito desejado (e não desejado) na escolha de um ou outro material. Estes aspectos necessitam ainda de uma ampla discussão a respeito das características de projeto das ferramentas de

corte para o serramento de toras por meio de serras de fita e sua influência no processo.

Os temas desgaste, materiais e geometria da ferramenta são assim os tópicos principais do presente trabalho.

Necessidades práticas de melhor conhecimento das características das matérias primas estudadas, foram geradas no decorrer do trabalho, e pode-se citar assim, como objetivos secundários, o estudo de características físicas e químicas dessas espécies de madeira. Quais sejam : densidade básica; teor de sílica e pH.

Caracteriza-se assim as espécies estudadas e é efetuado testes práticos de usinagem em serraria com condições específicas de corte para uma das espécies.

Foi preparado uma ferramenta com deposição de Stellite na ponta e utilizada no decorrer da produção. O tipo de dente empregado nos testes práticos é comumente o utilizado nas serrarias do norte do país.

Os detalhes de produção e dos testes com ferramenta “stellitada” foram comparados com a ferramenta normalmente utilizada, ferramenta de aço ligado, recalcado e igualizada manualmente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os itens 2.1 a 2.4 estão vinculados a assuntos teóricos da literatura referentes a ferramenta de corte e ao material madeira. Para os itens 2.5 a 2.7 foi realizado uma revisão de trabalhos científicos em ordem cronológica voltados para materiais aplicados à ferramenta de corte para usinagem de madeiras por serra de fita. O item 2.8 corresponde a aplicação do Stellite.

2.1 Movimentos e relações geométricas no processo de usinagem

Segundo a Norma NBR 6162 (1989) os movimentos no processo de usinagem são movimentos relativos entre a aresta de corte e a peça, definidos como movimentos de corte, de avanço e efetivo, do qual resulta o processo de usinagem da remoção contínua ou repetida de cavaco. Outros movimentos auxiliares ao processo, são definidos, na mesma norma como de ajuste, de correção, de aproximação e de recuo.

O movimento de ajuste é aquele no qual é pré determinada a espessura da camada de material a ser removida; o de correção, como o movimento para compensar alterações devidas, por exemplo, ao desgaste da ferramenta; o de aproximação como o movimento com o qual a ferramenta, antes da usinagem, se aproxima e o movimento de recuo, que é aquele com o qual a ferramenta, após a usinagem, é afastada da peça.

De acordo com Ferraresi (1982) no processo de usinagem devem-se distinguir três direções, a direção de corte, a direção de avanço e a direção efetiva de corte. Para cada movimento e respectiva direção, tem-se os vetores de velocidade instantânea no ponto de corte escolhido, são eles: a velocidade de corte " V_c ", a velocidade de avanço " V_f " e a velocidade efetiva " V_e ". Para uma pequena relação entre " V_f " e " V_c ", tem-se aproximadamente $V_e = V_c$. O autor descreve também que o plano de trabalho é o plano que contém as direções de corte e de avanço, passando pelo ponto de referência da aresta cortante. Neste plano se realizam todos os movimentos que tomam parte na formação do cavaco.

A Figura 2.1 ilustra o plano de trabalho “ P_{fe} ”, definido na norma NBR 6162 (1989).

Tanto Ferraresi (1982) quanto a norma NBR 6162 (1989), descrevem as grandezas de corte e de avanço, suas respectivas definições e simbologias, como a seguir:

As grandezas de corte são aquelas que devem ser ajustadas na máquina direta ou indiretamente para a retirada do cavaco. O avanço “ f ” é o percurso de avanço por volta ou por curso.

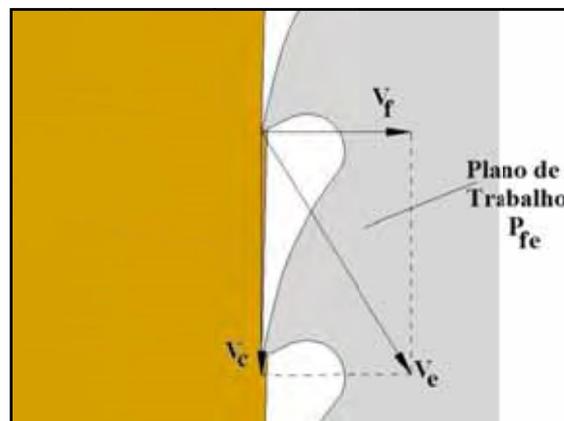


Figura 2.1 - Representação do plano de trabalho “ P_{fe} ” no processo de serramento por serra de fita

O avanço por dente “ f_z ” é o percurso de avanço por dente ou aresta de corte, medido no plano de trabalho “ P_{fe} ”. É conseqüentemente a distância entre duas superfícies consecutivas de usinagem, medida na direção de avanço.

Sendo “ z ” o número de dentes ou arestas cortantes, tem-se a seguinte relação entre o avanço “ f ” e o avanço por dente “ f_z ”, conforme apresentado na Equação 2.1

$$f_z = f / z \quad (2.1)$$

A largura de corte “ a_p ”, é definida como a largura de penetração da aresta principal de corte, medida numa direção perpendicular ao plano de trabalho.

A norma NBR 6163 (1989) descreve as superfícies, arestas, planos e ângulos da parte de corte de uma ferramenta, como a seguir:

Parte de corte: é a parte ativa da ferramenta, onde estão as cunhas de corte com suas respectivas arestas de corte;

Cunha de corte: é a cunha formada pelas superfícies de saída e de folga da parte de corte. Através do movimento relativo entre a peça e a ferramenta, formam-se os cavacos sobre a cunha de corte;

Superfície de saída (A_γ) : Superfície da cunha de corte, sobre o qual desliza o cavaco;

Superfície de folga: é a superfície da cunha de corte que determina a folga entre a ferramenta e a superfície de usinagem. A superfície de folga pode ser: superfície principal de folga (A_α), a qual contém a aresta principal de corte ou superfície secundária de folga (A'_α), a qual contém a aresta secundária de corte.

As superfícies de saída e folga da parte de corte são ilustradas em uma ferramenta de barra conforme a Figura 2.2 abaixo.

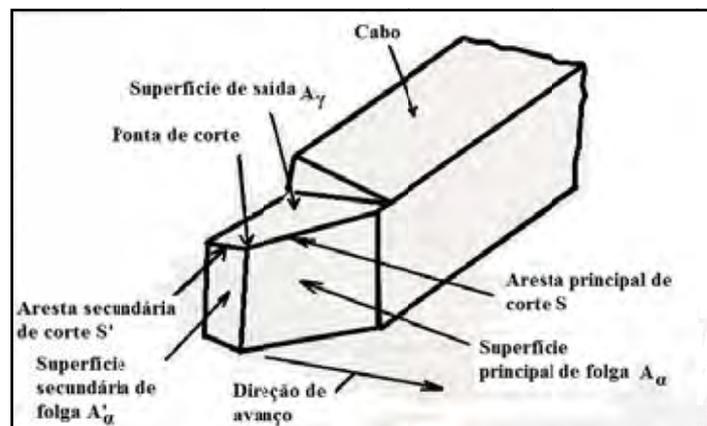


Figura 2.2 - Superfície, arestas e ponta de corte de uma ferramenta de barra (FERRARESI, 1982)

As arestas de corte são formadas pelas superfícies de saída e de folga, sendo estas:

Aresta principal de corte (S) : é a aresta da cunha de corte formada pela intersecção das superfícies de saída e de folga principal.

Aresta secundária de corte (S') : é a aresta da cunha de corte, formada pela intersecção das superfícies de saída e de folga secundária. Gera na peça a superfície em usinagem secundária.

Os planos de uma ferramenta são definidos para que se possa descrever os ângulos da parte de corte da mesma, como apresentado a seguir:

Plano de referência da ferramenta “ P_r ” : é o plano que passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular à direção admitida de corte. Esta é escolhida de maneira que o plano de referência da ferramenta seja o mais possível paralelo ou perpendicular à uma superfície ou eixo da ferramenta;

Plano de corte da ferramenta “ P_s ” : é o plano que passando pelo ponto de corte escolhido, é tangente à aresta de corte “S” e perpendicular ao plano de referência da ferramenta;

Plano admitido de trabalho “ P_f ” : é o plano que passando pelo ponto escolhido, é perpendicular ao plano de referência da ferramenta “ P_r ” e é paralelo à direção admitida de avanço. É escolhido de tal forma que fique o mais possível paralelo ou perpendicular à superfície ou eixo da ferramenta, respectivamente;

Ângulo de folga “ α_f ” : também chamado de ângulo de incidência, é o ângulo entre a superfície de folga “ A_α ” e o plano usado;

Ângulo de cunha “ β_f ” : é o ângulo entre a superfície de folga “ A_α ” e a superfície de saída “ A_γ ”;

Ângulo de saída “ γ_f ” : é o ângulo entre a superfície de saída “ A_γ ” e o plano de referência “ P_r ”.

A relação entre os Ângulos de folga, de cunha e de saída é: $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. A Figura 2.3 exemplifica a geometria da cunha de corte.

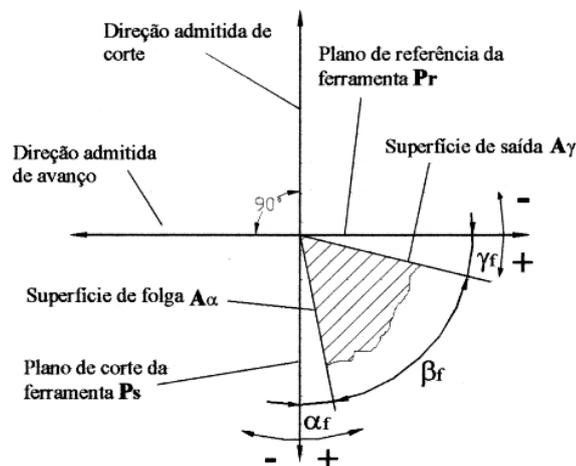


Figura 2.3 - Geometria da cunha de corte (Adaptado de GONÇALVES, 2000)

2.2 Sistemas de corte da madeira

O presente trabalho focou-se no processamento de desdobro da tora, o qual é definido como corte ortogonal. De acordo com Gonçalves (2000), a madeira é um material tridimensional e sua anatomia pode ser descrita por três seções ou superfícies de corte, sendo elas:

Seção Transversal: plano de corte normal ao eixo do tronco.

Seção Tangencial: plano de corte da madeira no sentido de crescimento axial, perpendicular ao raio do tronco e, ainda, tangencial às camadas ou anéis de crescimento.

Seção Radial: plano de corte da madeira no sentido de crescimento axial passando pelo eixo do tronco e, perpendicular às camadas de crescimento.

A Figura 2.4 abaixo ilustra as três seções de corte da madeira.

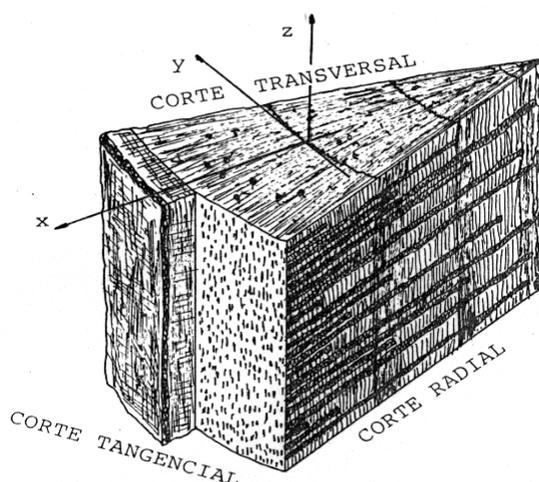


Figura 2.4 - Ilustração dos três planos preferenciais de um tronco de madeira
(Adaptado de GONÇALVES,2000)

Gonçalves (2000), apresenta na Figura 2.5 os diferentes sistemas de corte da madeira, onde o primeiro número da notação representa o ângulo da aresta de corte em

relação à direção das fibras e, o segundo número fornece o ângulo da direção do movimento em relação à direção das fibras.

Corte 90-0: A aresta de corte faz um ângulo de 90° com a direção das fibras e a direção de movimento a 0° com a direção das fibras;

Corte 0-90: A aresta de corte está paralela à direção das fibras e a direção do movimento é perpendicular às fibras;

Corte 90-90: Tanto a aresta de corte como a direção do movimento, são perpendiculares à direção das fibras.

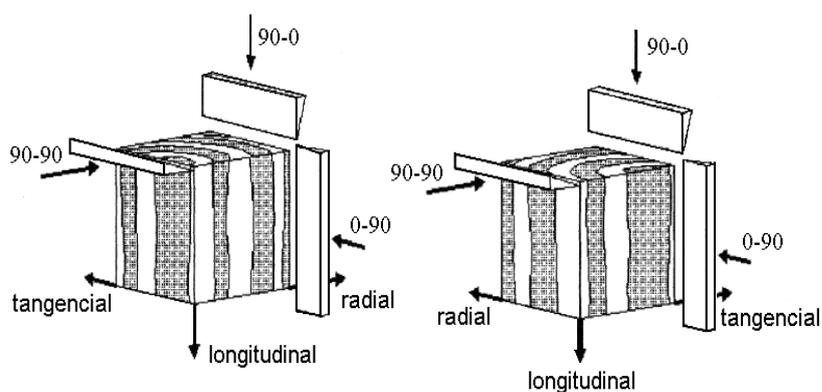


Figura 2.5 - Sistemas de corte com relação à seção transversal da madeira

(adaptado de GONÇALVES, 2000)

Para as operações do processo de serramento de madeira com serra de fita, utiliza-se a notação de corte 90-90, no qual a aresta de corte e a direção do movimento da ferramenta são perpendiculares à direção das fibras.

2.3 Serramento da madeira por serra de fita

Dalois (1990) define a operação de serrar como fatiar a tora em várias partes por meio de remoção de cavacos na forma de serragem. O corte é o sulco formado na madeira pela passagem das arestas cortantes dos dentes da serra. O corte por serra de fita é caracterizada por três dimensões: a espessura, a altura e o comprimento.

Segundo Santini (2000) a seleção de uma serra é uma decisão muito importante. Ainda após a escolha, a serra deve ser ajustada e operada com certas especificações para um desempenho adequado.

De acordo com Vidaurre (2006) todos os tipos de serra de fita são constituídos de lâmina e dentes. Estes dentes são formados por entalhes e saliências, que realizam um ataque sucessivo aos feixes fibrosos da madeira, onde arrancam certa quantidade de madeira, sob a forma de pequenas partículas, conhecidas como serragem. O formato e as dimensões dos dentes da serra têm influência sobre o resultado de corte. De modo geral considera-se que a geometria ideal é aquela que possibilita ganhos de qualidade e produtividade do produto “madeira serrada”.

2.3.1 Formação do cavaco

De acordo com Koch (1964) citado por Gonçalves (2000), o processo de usinagem de serramento por serra de fita contínua classifica-se como corte ortogonal perpendicular às fibras.

Segundo Sales (1990), representado na Figura 2.6, o processo de formação do cavaco no serramento por serra de fita, pode ser decomposto em duas fases.

Na primeira fase, o dente comprime e curva as fibras da madeira. As tensões que se desenvolvem, em ambos os lados do plano de corte, durante a penetração do dente, ocasionam a ruptura das fibras. O fenômeno de compressão e flexão é tanto mais acentuado, quanto menor a resistência mecânica da madeira à compressão transversal (madeiras macias). Na segunda fase, as fibras cortadas escoam em ambos os lados dos dentes ou sobre a superfície de saída da ferramenta, sob a forma de partículas mais ou

menos finas, chamadas de serragem (GONÇALVES, 2000).

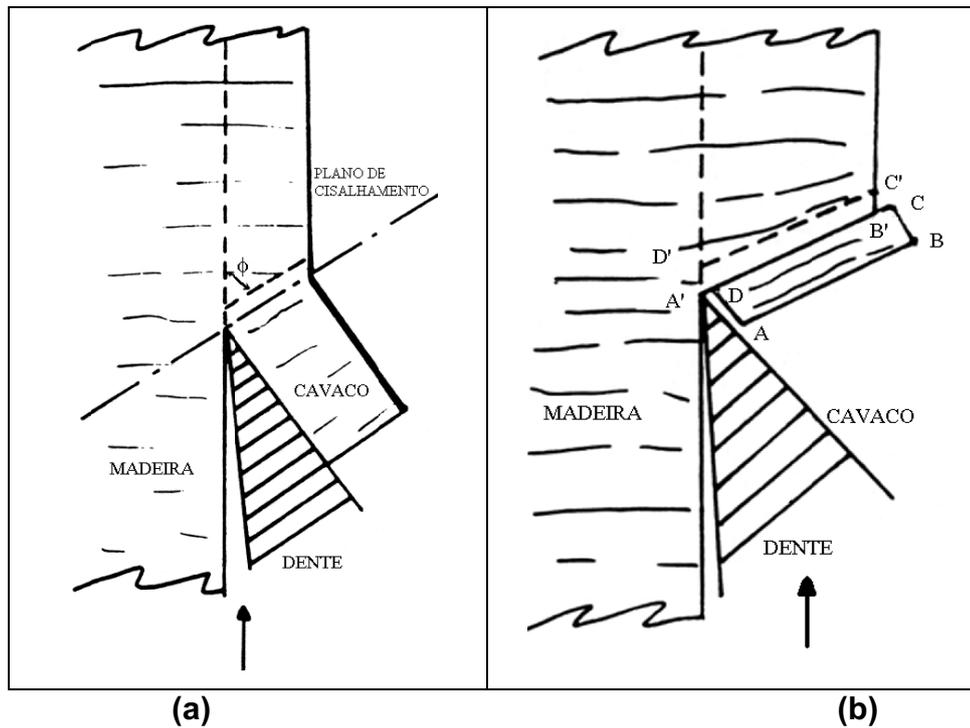


Figura 2.6 - Formação e ruptura do cavaco: (a) plano de cisalhamento e (b) ruptura do cavaco
(Adaptado de SALES, 1990)

A região do cavaco próxima à aresta de corte apresenta uma zona de grandes deformações. Esquemáticamente, pode-se representar este fenômeno por uma deformação em um plano, chamado de plano de cisalhamento, definido por um ângulo " ϕ " com relação à trajetória da ferramenta (Figura 2.6 a). Contudo, a separação do cavaco da madeira, não se deve apenas a um fenômeno de cisalhamento. Na verdade ocorre um modo de ruptura mais complexo, composto por flexão e esmagamento do cavaco. Observa-se na Figura 2.6 b que AB representa a espessura do cavaco e BC o comprimento do cavaco fracionado. Os valores de " ϕ " não são constantes e variam com as condições de corte. Quando a ferramenta penetra na madeira, o volume de material ABCD, situado próximo à aresta de corte, é comprimido. Nesta região, ocorre o rompimento das fibras, o escoamento deste segmento ao longo da superfície de saída e a ruptura no plano " ϕ ". As pressões se transmitem em seguida, ao volume elementar A'B'C'D'. A dimensão e a forma do cavaco dependem: do comportamento mecânico da madeira a compressão, cisalhamento e flexão; da geometria da ferramenta; e da orientação das fibras da madeira em relação à direção de corte (GONÇALVES, 2000).

2.3.2 Condições de usinagem

Velocidade de corte :

Segundo Gonçalves (2000), a velocidade de corte corresponde à distância percorrida por unidade de tempo, pela aresta de corte do dente. É diretamente proporcional ao diâmetro e à rotação dos volantes e pode ser calculada de acordo com a Equação 2.2.

$$V_c = (\pi \times D_v \times R) / 60 \quad (2.2)$$

Onde:

V_c = Velocidade de corte. [m/s];

D_v = Diâmetro dos volantes. [m];

R = Número de revoluções por minuto do volante motor. [rpm].

Em uma máquina de serra de fita, as velocidades de corte usuais para serras de desdobro são para madeiras macias, de até 50 m/s; para madeiras duras, entre 40 e 46 m/s e para madeiras extremamente duras de 30 a 35 m/s (GONÇALVES, 2000).

Sales (1990), recomenda as seguintes velocidades de corte para operações de desdobro em relação ao tipo de madeira e altura de corte, onde:

- Madeira dura e muito abrasiva com grande altura de corte: 25 m/s;
- Madeira dura e muito abrasiva a pequena altura de corte, ou madeira mediantemente abrasiva em grande altura de corte: de 25 a 35 m/s;
- Madeira de média abrasividade com pequena altura de corte, ou madeira pouco abrasiva em grande altura de corte: de 35 a 45 m/s;
- Madeira pouco abrasiva e pequena altura e madeira muito pouco abrasiva (particularmente coníferas): 45 m/s;

Velocidade de avanço ou de alimentação:

Segundo Gonçalves (2000), velocidade de avanço é definida como sendo a distância percorrida por unidade de tempo entre a ferramenta e a madeira. Para

operações de desdobro, as velocidades de avanço estão entre 15 e 100 m/min, dependendo do modelo da máquina.

Segundo o mesmo autor usualmente empregam-se velocidades de avanço próximas de 17 m/min para madeiras de média e alta densidade, 22 m/min para madeiras de baixa densidade, podendo atingir 35 m/min em função da altura de corte. A velocidade de avanço pode ser calculada de acordo com a Equação 2.3.

$$V_f = 60 \times V_c \times \delta \quad (2.3)$$

Onde:

V_f = Velocidade de avanço [m/min];

δ = Espessura do cavaco [mm];

p = Passo [mm].

Lehmann (2004), propõe uma metodologia para o cálculo da máxima velocidade de alimentação ou de avanço de acordo com a Equação 2.4.

$$V_{max} = (GFI \times c \times A) / (p \times D) \quad (2.4)$$

Onde:

V_{max} = Velocidade de avanço máxima. [m/min];

c = Velocidade da lâmina. [m/min];

A = Área da garganta. [mm²];

p = Passo dos dentes. [mm];

D = Profundidade de corte. [mm];

GFI = Índice Alimentar da Garganta.

$GFI = 0,7$ para serras de fita. [%];

$GFI = 0,3$ para serras circulares. [%].

2.3.3 Grandezas de corte

Espessura do cavaco e largura de corte:

A linha de corte, representada pela linha pontilhada na Figura 2.7 não é rigorosamente perpendicular à direção de deslocamento da madeira.

Essa diferença (entre deslocamento da lâmina e linha de corte) resulta no ângulo " φ " e depende da velocidade de corte e de avanço.

Para velocidade de corte de 30 m/s, " φ " varia de 1° a 4° quando a velocidade de avanço vai de 30 a 130 m/min. Essa defasagem corresponde à diferença entre a espessura de cavaco real (h) e a espessura de cavaco calculada (h') em milímetros, as quais se relacionam pela seguinte expressão: $h = h' \times \cos\varphi$.

A espessura de cavaco calculada representa o avanço da ferramenta em relação à madeira, e corresponde à distância percorrida pela madeira durante o tempo em que um dente efetua um deslocamento igual ao passo. Ambos os parâmetros, h' e h , estão relacionados com o número de dentes que agem em um intervalo de tempo e com o deslocamento relativo da madeira em relação à lâmina. (GONÇALVES, 2000).

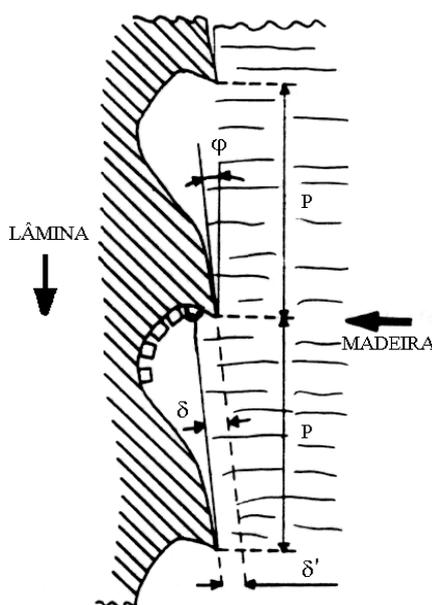


Figura 2.7 - Espessura de cavaco real e calculada (Adaptado de SALES, 1990).

Segundo Gonçalves (2000), quando a velocidade de corte é muito superior à velocidade de avanço da madeira (50 a 200 vezes), o ângulo " ϕ " é pequeno. Nestas condições de acordo com o mesmo autor, a espessura de cavaco calculada é aproximadamente igual ao do cavaco real. O volume de material retirado por dente, para lâmina recalcada ou travada, é calculado de acordo com a Equação 2.5.

$$V = \delta' \times k \times H = p \times V_f \times H \times k / (V_c \times 60) \quad (2.5)$$

Onde:

V = Volume de material retirado por dente.[mm³];

k = Largura de corte.[mm];

H = Altura de corte.[mm];

p = Passo dos dentes.[mm];

V_f = Velocidade de avanço.[m/min];

V_c = Velocidade de corte.[m/s].

A Figura 2.8 apresenta as grandezas de espessura de corte " h ", largura de corte " k ", folga lateral " s " e espessura da lâmina " e ", para dentes recalcados e travados.

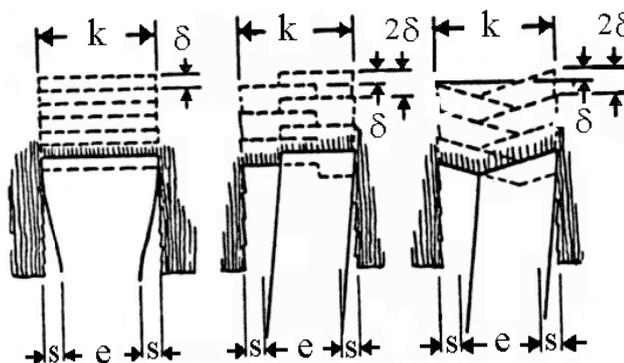


Figura 2.8 - Grandezas de corte de dentes recalcados e travados. (Adaptado de KOCH, 1964).

2.3.4 Esforços de corte

Dalois (1990) cita sete parâmetros responsáveis pelo nível de esforço de corte para o serramento por serra de fita, conforme descritos : Dureza da madeira, umidade da madeira, qualidade da afiação, espessura do corte, velocidade de corte, ângulo de saída e espessura do cavaco.

Segundo Gonçalves (2000), as forças que agem em um dente de serra no serramento contínuo podem ser divididas em dois grupos: forças que atuam no plano de trabalho e as forças que atuam lateralmente ao plano de trabalho. As forças que atuam no plano de trabalho correspondem a um conjunto de ações que podem ser simplificadas a uma força normal " F_n " em relação à face de saída; e por uma força paralela " F_f " decorrente dos atritos gerados pelo cavaco sobre a face de saída, resultando em " F " (Figura 2.9a). A força " F " pode ser decomposta a uma força paralela à direção de deslocamento do dente, conhecida como força de corte " F_c "; e uma força perpendicular a essa direção, chamada força de avanço " F_a " conforme demonstrado na Figura 2.9 b.

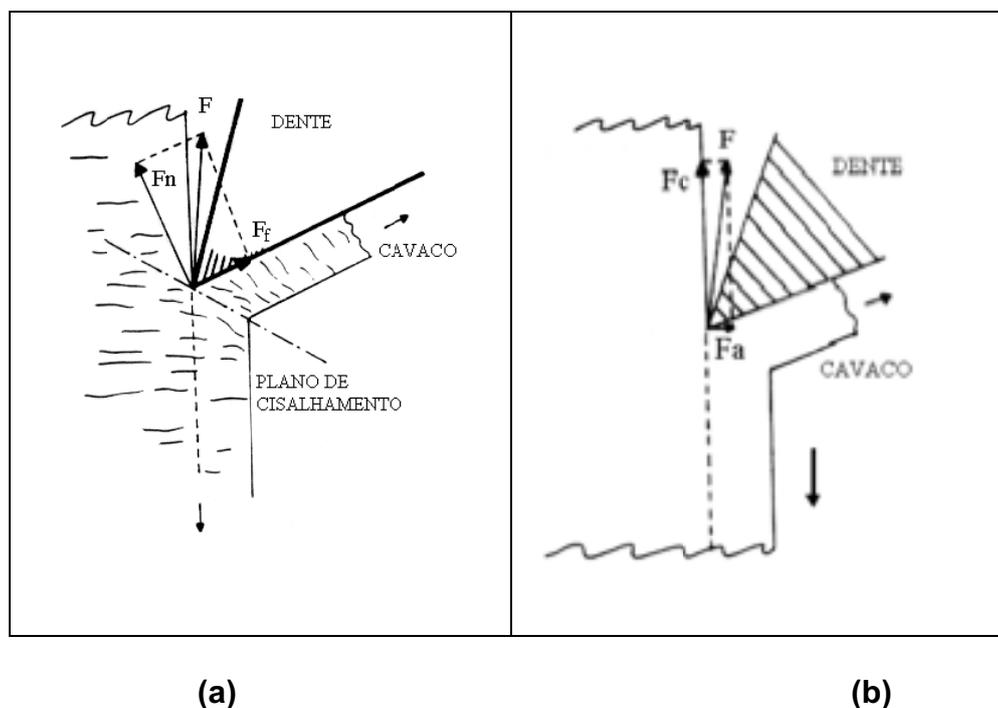


Figura 2.9 - Forças atuantes no corte: (a) esforços na ferramenta e (b) decomposição da resultante dos esforços.

(Adaptado de SALES, 1990)

Segundo Sales (1990) as forças que atuam no plano de trabalho correspondem as pressões exercidas pelos dentes sobre a madeira, e são aplicadas na face de saída. A distribuição destas pressões é particularmente complexa, sendo estas elevadas na proximidade da aresta de corte e gradativamente menores ao se afastar dessa região.

A componente " F_a " não contribui ao trabalho de corte, pois é caracterizada como uma resistência ao avanço da madeira, e aos esforços transversais que a lâmina está submetida. Assim, o trabalho necessário para o corte é dado pela Equação 2.6.

$$W = F_c \times H \times 1000 \quad (2.6)$$

Onde:

W = Trabalho necessário para o corte [N.m];

F_c = Força de corte [N];

H = Altura de corte [m].

Para as forças laterais ao plano de trabalho os esforços de corte não atuam em um plano rigorosamente paralelo a lâmina, em razão da heterogeneidade da madeira, irregularidades dos dentes, parâmetros de corte inadequados e má remoção da serragem. Sempre há uma componente perpendicular ao plano de corte que tende a flexionar o dente e a lâmina, ocasionando desvios e irregularidades da superfície cortada. Esses desvios são menores quanto maior a rigidez da lâmina.

Para quantificação do consumo energético Gonçalves (2000) afirma que os valores de força e potência de corte podem ser medidos através de instrumentação dos processos de usinagem.

Os fatores que influenciam sobre a força de corte, estão relativos a :

Ferramenta de corte

Condições de Usinagem

Características da madeira. (GONÇALVES, 2000).

Koch (1964) recomenda potências para uma relação entre diâmetro do volante, espessura da lamina e largura da serra.

A Tabela 2.1 compara e apresenta uma relação entre diâmetro do volante e potência necessária para o serramento por serra de fita sugerida por Koch (1964) e por BCIT (2002) .

Tabela 2.1 - Relação entre diâmetro do volante e potência do motor
(Adaptado de KOCH (1964) e BCIT (2002))

Diâmetro do volante		Potência do motor da serra	
(pés)	(mm)	KOCH (1964) (HP)	BCIT (2002) (HP)
10	3.048	250 – 300	250 - 400
9	2.743	200 - 250	200 - 350
8	2.438	150 - 200	150 - 300
7	2.133	125 - 175	125 - 250
6	1.828	100 - 150	100 - 150
5	1.524	50 - 75	50 - 100

2.4. Geometria das ferramentas para serramento da madeira por serra de fita

A NBR 6163 (1989) define a nomenclatura para os ângulos que compõem a geometria do dente de uma serra, sendo essa nomenclatura composta por letras gregas da seguinte forma: alfa para ângulo de folga “ α ”, beta para ângulo de cunha “ β ” e gama para o ângulo de saída “ γ ”. A Figura 2.10 ilustra os ângulos que compõem a geometria do dente da serra de fita.

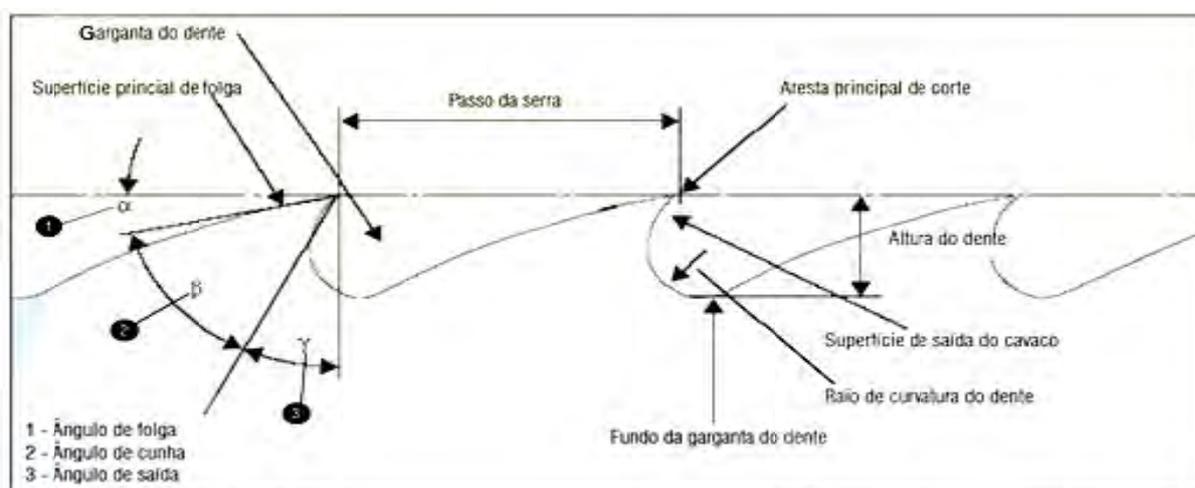


Figura 2.10 - Terminologia usada para os dentes de serra de fita
(Adaptado de SANDVIK, [2000?])

2.4.1 Fatores que influenciam a escolha do dente

O formato e as dimensões dos dentes da serra têm influência sobre o resultado do corte. De modo geral, considera-se que a geometria ideal é aquela que possibilita ganhos de qualidade e produtividade na madeira serrada. Segundo SANDVIK [2000?], na escolha do dente deve ser considerado os seguintes fatores: capacidade de garganta, estabilidade lateral adequada e geometria cortante.

Vidaurre (2006), sugere que a escolha do formato do dente deve considerar os seguintes parâmetros:

Tipo de madeira: madeiras mais densas e secas exigem formatos de dentes mais robustos, enquanto madeiras mais macias e verdes permitem formatos menos resistentes, deixando mais espaço para o fundo do dente;

Direção do corte em relação às fibras: no corte transversal às fibras os dentes sofrem maior desgaste, quando comparados aos cortes longitudinais;

Velocidade da lâmina: a velocidade elevada da lâmina está geralmente associada com o corte de madeiras moles e a utilização de elevadas velocidades de avanço, necessitando, então, de fundos de dentes maiores;

Avanço: elevadas velocidades de avanço sujeitam os dentes a grande esforço e exigem um formato mais robusto. Velocidades elevadas de avanço também exigem gargantas dos dentes maiores;

Espessura da lâmina: lâmina fina exige dentes mais resistentes que lâmina grossa;

Profundidade do corte: se as outras condições forem iguais, o aumento da profundidade do corte requer mais espaço para o fundo do dente. Contudo, a lâmina, nesta condição, está sujeita a maiores esforços, o que deve ser compensado pela redução do avanço.

O dente de serra executa três funções na operação de corte : A largura corta a fibra da madeira, a face do dente esmaga a fibra da madeira e a lateral do dente aplaina a fibra da madeira (BCIT, 2002). A mesma publicação relata ainda que a correta escolha do passo do dente, dos ângulos vistos sobre a superfície de trabalho, a área da garganta e os ângulos de folga radial e tangencial irão gerar o melhor resultado na

performance do corte, pois em função destes poderá se ter resultados positivos ou negativos nos aspectos de variações no corte, acabamento superficial, espessura de corte e consumo de energia.

Segundo Lehmann (2011), os dentes da serra estão sujeitos a grandes esforços, calor, abrasão e produtos químicos corrosivos presentes na madeira. Além disso, existe a presença de pedras, areia, pregos e outros materiais estranhos embutidos na madeira que irão aumentar os esforços sobre o dente da serra. Todos esses fatores estão envolvidos na seleção de um perfil do dente e o material para a ferramenta de corte. A geometria de um dente é o resultado de um ajuste que é em função principalmente da dureza da madeira.

Do ponto de vista das forças de corte, é desejável reduzir tanto quanto possível, aumentando o ângulo de ataque. No entanto, isso resulta em um dente com um ângulo de cunha pequeno que pode ser enfraquecido o suficiente para que o dente dobre ou até mesmo quebre. Por esta razão, os dentes das serras para o corte de folhosas ou resinosas com nós rígidos, têm ângulos menores de ataque. Ao aumentar o ângulo de ataque, diminui o ângulo de cunha, ou o ângulo efetivo de corte, fragilizando a ferramenta. Segundo o mesmo autor, o ângulo de folga deve ser o mínimo possível para que esteja no limite entre o não queimar a madeira mas mantendo o maior ângulo de cunha possível dando rigidez a ferramenta.

2.4.2 Ângulos da cunha cortante

A Figura 2.11 representa esquematicamente a geometria dos ângulos do dente de uma lâmina de serra e as superfícies de folga e de saída.

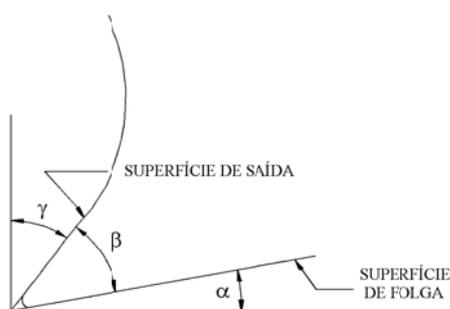


Figura 2.11 - Geometria de um dente de serra
(Adaptado de KILLMANN & FINK, 1996)

Ângulo de saída: O ângulo de saída (do cavaco) ou ângulo de ataque condiciona a penetração da aresta cortante na madeira. Para o serramento longitudinal interessa-se a escolha de um dente reforçado que permita grande resistência em sua ponta, assim como confira rigidez na lâmina da serra fita (DALOIS, 1990).

Se o ângulo de saída, também denominado por “rake angle” for muito pequeno, o material a ser cortado será forçado para dentro da serra para fazer o corte. Isto resulta em deflexões na serra. Também se o ângulo de saída for muito pequeno, o pó de serra será muito fino, gerando atrito na parte lateral do dente, desgastando a serra. Se o ângulo de saída for muito grande para a velocidade de alimentação, a madeira é empurrada para dentro da serra mais rapidamente do que o desejado fazendo com que a lâmina tende a movimentar-se dentro dos volantes, reduzindo a estabilidade da serra. Também irá produzir cavacos grandes que não escoam pela garganta do dente (BCIT, 2002).

Sales (1990), comenta que a prática de reduzir o ângulo de saída para serrar madeiras duras é devido a impossibilidade que as serras de menores diâmetros tem em efetuar o trabalho que lhe é imposto. A redução do ângulo de ataque permite fazer com que seja suprimida as dificuldades devido a deflexão (desvios) da lâmina, porém, gera efeitos dramáticos sobre a produção, especialmente em volantes de até 1,30 m que não chegarão a velocidades de 10 m/min em alturas de corte acima de 0,50 m.

Para ângulos de ataque acima de 30 ° a lâmina é desviada em direção a madeira sendo serrada. Nestes casos, a lâmina recém afiada tenderá a desviar mais do que a lâmina usada pois a perda do gume cortante fará com que a força resultante dos esforços sejam mais concentrados no plano da lâmina do que em direção a tora.

Velocidades de avanço altas requerem maiores ângulos de saída que velocidades de avanço mais lentas;

Ângulo de folga: deve ser suficiente para que as costas do dente não entre em contato com a madeira após o corte, evitando atrito e geração de calor. Grandes ângulos de folga, diminuem a força de avanço da madeira (menos contato da madeira com partes não cortantes da lâmina), contudo aumentam a tendência de deterioração

do dente, por estarem vinculado a pequenos ângulos de cunha. Inversamente, pequenos ângulos de folga, permitem grande ângulos de cunha e dentes mais robustos.

Ângulo de cunha: representa o ângulo do gume cortante, formado pelo material que constitui o dente da serra, por este motivo, determina a resistência mecânica do dente. Se este ângulo for muito pequeno, o dente será frágil, e pode facilmente ser quebrado com aplicação de carga. Com um excessivo ângulo de cunha, a velocidade de avanço é restringida.

A Tabela 2.2 apresenta os efeitos dos ângulos dos dentes tanto para coníferas como folhosas.

Tabela 2.2 - Efeito dos ângulos nas serras de fitas no corte da madeira.
(Adaptado de LEHMANN, 2010)

Ângulo dos dentes	Efeitos dos ângulos	Folhosas	Coníferas
saída (γ)	Aumentar o ângulo de ataque diminui as forças de corte e consumo de energia.	20°	30°
cunha (β)	Diminuir o gume cortante reduz a resistência e a rigidez do dente.	62°	48°
folga (α)	Valor mínimo necessário para evitar o contato na parte de trás do dente com a madeira.	8°	12°

Na Tabela 2.3 é recomendado alguns ângulos por pesquisadores e fabricantes de ferramentas para serras recalcadas.

Tabela 2.3 - Valores de ângulos recomendados para serra de fita (Adaptado de Gonçalves,2000)

	Ângulo de saída (γ)	Ângulo de folga (α)
MADEIRAS MOLES	28 a 35°	10 a 14°
MADEIRAS DURAS	22 a 28°	8 a 10°

Ângulo de folga lateral ou secundário: A folga lateral entre a lâmina de serra e a madeira deve ser suficiente para evitar atrito excessivo. O tamanho da folga lateral é estabelecido pelos parâmetros de corte, tipo e geometria do dente, pelo equipamento (tipo de guia da lâmina e alinhamento) e o tipo de madeira (espécie e umidade). A Figura 2.12 ilustra a folga lateral de um dente.

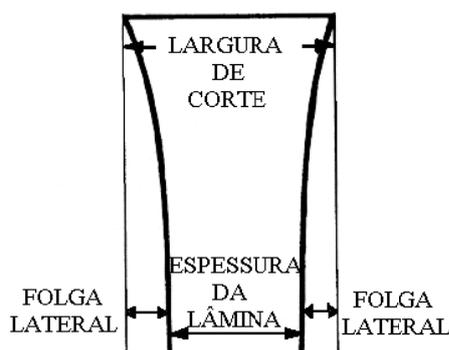


Figura 2.12 - Folga lateral em um dente de serra de fita com perfil de recalçamento
(Adaptado de GONÇALVES, 2000)

2.4.3 Largura e espessura das lâminas de serra fita

Largura da lâmina: De acordo com Gonçalves (2000), a largura da lâmina de uma serra de fita pode ser classificada em estreita e larga, e ainda segundo esse mesmo autor, para cada tipo, os fabricantes de lâminas produzem uma diversidade de larguras. São fabricadas com aço carbono ou aço cromo níquel, e usadas em máquinas horizontais e verticais, responsáveis nas primeiras etapas de processamento da madeira.

A largura da lâmina está relacionada com a largura dos volantes, sendo que o fundo da garganta dos dentes, deve estar pelo menos 5 mm para fora do volante.

De acordo com Sales (1990) citado por Gonçalves (2000), a medida que a lâmina é reafiada, sua largura diminui, sendo necessário o descarte da mesma a partir da redução de um terço da largura original. Essas lâminas, empregadas nas operações de desdobro, estão limitadas ao corte reto, sob pena da colisão da lateral da serra com a madeira.

De acordo com Gonçalves (2000), a lâmina estreita possui largura menor ou igual a 50,8 mm (2”), e são usadas quase que exclusivamente em máquinas verticais, para o corte secundário. Fabricadas em aço de alto teor de carbono, possuem a vantagem de cortar reto ou em contornos, em trabalhos de recorte. Segundo o mesmo autor, as lâminas estreitas não estão vinculadas a largura do volante, pois seus dentes ficam sobre uma manta de borracha ou material similar, que os envolve.

Espessura da lâmina:

FORÉZIENNE (2010), propõe uma relação para a espessura da lâmina que pode ser observado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Relações entre diâmetro do volante e espessura da lâmina
(Adaptado de FORÉZIENNE, 2010)

Diâmetro do volante	(mm)	500	600	700	800	900	1000	1100
Espessura da serra	(mm)	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Relação e/D	-	1250	1200	1167	1143	1125	1111	1100
Diâmetro do volante	(mm)	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200
Espessura da serra	(mm)	1,10	1,2-1,25	1,38-1,47	1,65	1,83	2,11	2,36-2,41
Relação e/D	-	1091	1040	952	970	984	948	913

BCIT (2002), cita que na prática a espessura da serra não deve exceder a 1/1000 do volante da máquina. Essa recomendação corresponde a valores para equipamentos entre 5” a 10” polegadas (1,5 m até 3,0 m) de diâmetro do volante.

SANDVIK [2000?], define a espessura da serra com uma relação direta com o diâmetro do volante. As serras de tamanho inferior a 1,47 mm (17 BWG) não devem ter uma espessura maior que 1/1000 do diâmetro do volante da serra fita. As serras que superam esse valor não devem ter um espessura superior a 1/1200 do diâmetro da polia.

2.4.4 Perfil dos dentes de serra fita

Tipo de perfil : O bom trabalho do dente de serra é função de sua geometria, dos esforços que são aplicados contrários ao corte, da resistência da lâmina e dos ângulos

de incidência, corte e ataque. As modificações na geometria dos dentes das lâminas de serra de fita visam à redução dos esforços de corte, levando a um aumento da velocidade de avanço no carro porta-tora no momento do corte, propiciando ganho de produtividade e redução no consumo de energia (VIDAURRE, 2006). Tuset & Duran (1986), apresentam alguns tipos de dentes os quais são os mais utilizados. Os perfis demonstrados na Figura 2.13 correspondem aos seguintes tipos:

- Lâminas de fita larga :

Perfil 1 (denominado perfil C): garganta ampla e boa rigidez, usado para desdobro para qualquer madeira;

Perfil 2 (denominado perfil P): Permite fracionar o cavaco mais facilmente e é usado para todo o tipo de madeira;

Perfil 3 (denominado de perfil especial): Possui ângulo de saída e espaço da garganta muito amplo, devido estas características é usado no serramento de madeira macia (baixa densidade).

- Lâminas de fita estreita:

Perfil 4a - resistente, de pequena garganta, indicado para madeira seca e dura;

Perfil 4b - possui grande garganta, dentes mais esbelto e tem aplicação geral.

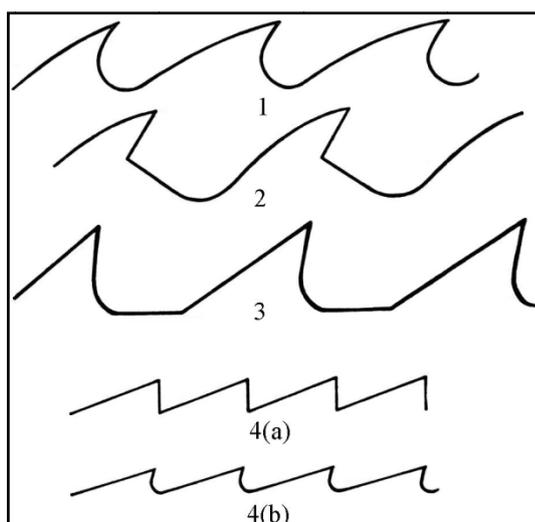


Figura 2.13 - Tipos de perfil para lâminas de serra larga e estreita
(Adaptado de TUSET & DURAN, 1986)

A Tabela 2.5 sugere uma correlação entre autores, modelo de dentes e denominação encontrados na literatura e não padronizados para a língua portuguesa.

É sugerido o emprego de alguns formatos de dentes de acordo com determinadas características da madeira. O formato “SB”, também chamado de cavaco projetado, segundo Sales (1990) é o mais recomendado para o serramento da madeira dura, pois possui um formato especial que garante grande estabilidade lateral e assim utilizado para serrar todos os tipos de toras, bem como toras congeladas.

Outro dente recomendado por SANDVIK[2000?] é a forma S para serrar troncos, pela alta capacidade de área da garganta.

Tabela 2.5 - Correlações entre nome e perfis de dentes utilizados

Tipos de Perfis de Dentes				
Autores / Ano				
DALOIS (1990)	SANDVIK [2000?]	TUSET & DURAN (1986)	FORÉZIENNE (2010)	VIDAURRE (2006)
Perroquet	S	1 ou C	PV	NS
Gencives		3 ou especial	GD	O
Couchée	LS	4 (b)	NV	N
Copeaux projetés	SB	2 ou P	CP	SB

O perfil tipo 2 ou P, permite fracionar o cavaco mais facilmente e é usado para todo tipo de madeira. O perfil tipo 3 ou especial, possui ângulo de saída e espaço da garganta muito amplo, devido estas características é usado no serramento de madeira macia. (TUSET & DURAN, 1986). Loehnertz, Cooz e Guerrero (1994), descrevem os perfis de dentes mais utilizados no Brasil que são apresentados na Figura 2.14.

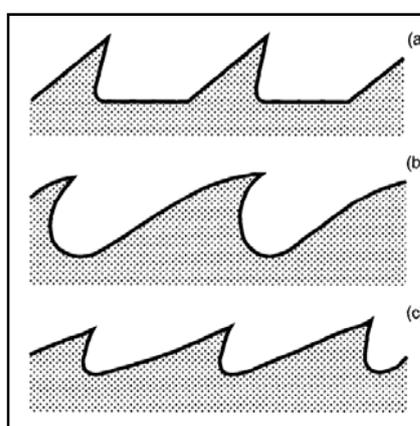


Figura 2.14 - Tipos de dentes de serras utilizados com maior frequência no Brasil
(LOEHNERTZ, COOZ e GUERRERO, 1994)

Altura do dente: É a distância entre a aresta de corte e o fundo da garganta. Algumas recomendações para a altura dos dentes de uma lâmina de serra de fita são listadas por autores como Tuset & Duran (1986) e Gonçalves (2000). Os principais pontos que definem essa aplicação, estão descritos abaixo:

Lâminas para madeiras macias: devem ter maior altura que para madeira dura;

Maior altura do dente: em lâminas recalçadas que em lâminas travadas;

Aumentando-se a largura e a espessura: pode-se aumentar a altura do dente;

A altura do dente: não deve ultrapassar dez vezes a espessura;

Para lâminas com largura entre 100 e 150 mm: a altura pode ser selecionada a partir dos seguintes critérios:

Para madeiras macias - Lâminas com dentes recalçados, a altura igual a um terço do passo. Lâminas com dentes travados, altura de três vezes e meia a quatro vezes menor que o passo.

Para madeiras duras - Lâminas com dentes recalçados, altura três vezes e meia a quatro vezes menor que o passo. Lâminas com dentes travados, altura cinco vezes menor que o passo.

Garganta dos dentes:

Sales (1990) afirma que a área da garganta possui as funções de alojar a serragem produzida no serramento e removê-la para fora da região do corte.

Para uma boa performance da lâmina, as partículas de serragem devem permanecer na garganta enquanto usina a madeira. Para isso, a garganta deve possuir uma capacidade adequada ao trabalho, pois o volume de material acima de sua capacidade, resulta no excesso de serragem saindo pelas laterais da lâmina, que são comprimidas entre a madeira e a lâmina provocando atrito, aquecimento e dificultando o trabalho da serra. Nesta situação, é comum o aumento de força exigida para o corte, irregularidades e variação de medida da peça serrada, e em casos extremos, o travamento da serra.

Aumentar o tamanho da garganta não é uma boa saída. Em muitos casos pode acontecer um efeito inverso de aumentar a quantidade de serragem saindo pela lateral do dente. A solução para esses problemas seria o usuário da serra de fita conhecer todos os parâmetros envolvidos e adequá-los a capacidade da lâmina.

Contudo, a capacidade da garganta de um dente depende da relação de vários fatores, que dificultam os cálculos, como: densidade e umidade da madeira cortada, e da fração do volume da garganta, que efetivamente é utilizada para abrigar a serragem. Segundo Koch (1964) aproximadamente 3/5 do volume total da garganta é preenchido por serragem.

Conhecendo o volume de serragem, o cálculo da capacidade da garganta pode ser simplificado por um problema de geometria. Para calcular a superfície da garganta do dente, é necessário decompô-lo em elementos de forma geométrica simples. Como pode ser observado na Figura 2.15, observa-se o número de quadrados iguais somando os elementos restantes o que resulta no total de quadrados. Assim, o cálculo da capacidade da garganta é feito multiplicando o valor da superfície desses quadros encontrados, pela espessura de corte. (SALES, 1990).

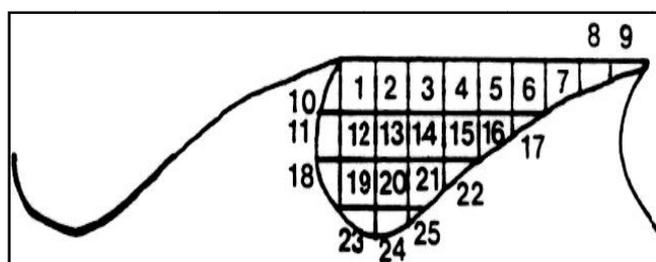


Figura 2.15 - Ilustração geométrica para cálculo do volume da garganta de um dente de serra (SALES, 1990)

Sales (1990) propõe para o dente do tipo S, citado na Tabela 2.5 a Equação 2.7 para o cálculo da área da garganta do dente.

$$S_d = h \times p / 1,75 \quad (2.7)$$

Para o dente tipo SB, demonstrado na tabela 2.5, o autor cita a Equação 2.8 para cálculo da área da garganta do dente:

$$S_d = 0,50 \times h \times p + (0,12 \times h \times h) \quad (2.8)$$

Onde:

S_d = Área da garganta do dente [mm²];

h = É a altura do dente [mm²];

p = Passo do dente [mm²].

Um meio de quantificar a capacidade da garganta é o Índice de Ocupação da Garganta (IOG). É um índice adimensional, definido como a razão do volume de madeira convertida em serragem que pode ocupar o volume da garganta. Por exemplo, uma garganta com volume de $2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, pode conter $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ de madeira transformada em serragem, ou seja, seu IOG é $0,7 (1,8 \cdot 10^{-3} / 2,6 \cdot 10^{-3})$. (GONÇALVES, 2000).

SANDVIK [2000?], propõe uma metodologia para se calcular a capacidade da garganta do dente em função do tamanho do cavaco multiplicado pela altura do corte. O Volume calculado permite, conhecendo-se a área da garganta, calcular o IOG da garganta e conseqüentemente a interpretação das condições de usinagem submetida para determinada operação de corte.

Passo da serra: A distância da ponta de um dente ao outro adjacente é conhecido como passo da serra e pode ser observado na Figura 2.10. Este parâmetro determina o número de dentes que estará atuando em uma peça de madeira de uma determinada altura.

Conforme Tuset & Duran (1986), os seguintes fatores devem ser considerados para selecionar o passo adequado:

Velocidade de Corte: Para aumentar a velocidade de corte, aumenta-se o passo;

Velocidade de Avanço: Passo maior, significa diminuir o avanço sem diminuir o rendimento. Porém esta solução requer afiações mais freqüentes dos dentes;

Perfil dos Dentes: A garganta de um dente deve possuir forma e profundidade adequada para assegurar uma boa remoção da serragem; e os ângulos do dente devem garantir um bom corte e rigidez;

Tipo da Madeira: Madeiras duras precisam ser cortadas com passo menores que as macias; assim como madeiras secas necessitam passo menores que as do estado verde; já madeiras abrasivas, são melhores cortadas com passo maiores;

Altura de Corte: Recomenda-se manter pelo menos de 3 a 5 dentes trabalhando durante o corte, para repartir os esforços de remover a serragem sem problemas;

Largura e espessura: Com maiores larguras e espessuras, o passo pode ser aumentado mantendo a rigidez da serra. Quanto maior a largura das serras maior o passo. Isto é explicado por Koch (1964), devido as lâminas largas trabalharem a altas velocidades de corte em grandes altura de corte, precisam de uma passo maior para conter uma grande garganta, para alojar a serragem produzida.

A Tabela 2.6 apresenta os passos recomendados em função da densidade da madeira.

Tabela 2. 6 - Passos recomendados para lâminas (TUSET & DURAN, 1986)

		Passo (mm)	
Largura	Espessura	Valores para serra recalçada	
(mm)	(mm)	Madeira macia	Madeira dura
50	0,9	-	-
60 a 75	1,06 a 1,07	35 a 40	30
80 a 90	1,07 a 1,10	40 a 44	35 a 38
100	1,07 a 1,10	44	35 a 40
125	1,07 a 1,24	44 a 45	38 a 44
150	1,24 a 1,47	45 a 50	38 a 44
180 a 200	1,47	45 a 57	44 a 51

2.5 Materiais para ferramentas de corte

Callister (2008) agrupa os diversos materiais em 3 classes básicas : metais, cerâmicas e polímeros.

Sua classificação é baseada principalmente na constituição química e estrutura atômica. Muitos materiais caem num distinto grupamento ou num outro, embora existam alguns intermediários.

Em adição, existem 2 outros grupos de importantes materiais de engenharia: compósitos, e semicondutores.

Metais são normalmente combinações de elementos metálicos. Eles têm grande número de elétrons não localizados, isto é, estes elétrons não estão amarrados a particulares átomos. Metais são extremamente bons condutores de eletricidade e de calor e não são transparentes à luz visível: a superfície de um metal polido tem aparência lustrosa. Além disso, metais são bastante fortes, ainda deformáveis.

Cerâmicas são compostos entre elementos metálicos e não-metálicos: eles são muito frequentemente óxidos, nitretos e carbetos. A larga faixa de materiais que caem dentro desta classificação inclui cerâmicas que são compostas de minerais de argilas, cimento e vidro. Estes materiais são tipicamente isolantes à passagem de eletricidade e de calor, sendo mais resistentes a altas temperaturas e ambientes rudes do que metais e polímeros. Com relação ao comportamento mecânico, cerâmicas são duras mas muito frágeis.

Polímeros incluem os materiais familiares plástico e borracha. Têm sido engenheirados um número de materiais compósitos que consistem mais do que um tipo de material. Um compósito é projetado para exibir uma combinação das melhores características de cada um dos materiais componentes. Muitos dos recentes desenvolvimentos de material têm envolvido materiais compósitos.

Chiaverini (1979) afirma que a seleção de um material para ser utilizado como ferramenta de corte depende de uma serie de fatores, entre os quais podem ser mencionados os seguintes: material a ser usinado; natureza da operação de usinagem;

condição da máquina operatriz; forma e dimensões da própria ferramenta; custo do material para a ferramenta e emprego de refrigeração ou lubrificação.

Dalois (1990) apresenta as classes de materiais empregados em ferramentas para usinagem da madeira como: aço carbono; aço liga (níquel, cromo, cobalto, vanádio etc.); aço rápido (tungstênio-cobalto); Stellite (liga sem ferro contendo cobalto, cromo e tungstênio) e carboneto de tungstênio.

Santini (2000), cita que em vista dos materiais empregados como ferramentas e com base nas suas características químicas, esses materiais, de maneira genérica, podem ser agrupados como: aços carbono para ferramentas; aços rápidos; aços semi-rápidos; ligas fundidas; metal duro; metal duro revestido; materiais cerâmicos e outros materiais (Cermet, Diamante, CBN).

De acordo com Gonçalves (2000), após análise dos fatores inerentes ao processo de usinagem, deve-se atender as propriedades requeridas à ferramenta, quais sejam: dureza a quente; resistência ao desgaste abrasivo; tenacidade e estabilidade química.

Portanto, é de extrema importância efetuar um estudo de adequação do processo de usinagem entre máquina, ferramenta e a peça.

BCIT (2002), cita que os aços ligados para serra fita estão sujeitos a muitas solicitações de esforços. Seu dente golpeia a madeira a grandes velocidades e a serra fita esta tensionada sobre as polias, girando sobre elas quando em funcionamento.

Durante o desdobro o aço das ferramentas absorvem o calor gerado, particularmente nas pontas dos dentes, parte desse calor deve ser absorvido pelo material sem empenar. Os aços de serra devem apresentar características de resistência quanto a esforços de tensionamento e tensões provenientes ao dobramento sobre os volantes e ao choque quando um dente individual inicia o arrancamento do cavaco.

Segundo Lehmann (2010), a estrutura do material do gume cortante é diretamente proporcional a sua resistência ao desgaste. A alta resistência pode ser uma característica desejável para um material de aresta cortante porque torna o dente mais resistente ao desgaste, porém isso também resulta em um dente que está mais frágil.

Isto significa que a ponta vai trincar ou quebrar com mais facilidade a partir de qualquer manipulação descuidada da serra ou se bater em nós, ou em pedras e sílicas presente na madeira.

Por esta razão, serras que fazem os primeiros cortes ainda usam os dentes de aço, porque eles são mais tenazes e mais fáceis de reparar.

O uso de materiais como o diamante, pode ser pensado como aplicáveis para minimizar os efeitos de desgaste discutido acima, porém são inviáveis devido a condições de fornecimento da indústria em escala comercial para serras fitas e circulares, tendo em vista sua fragilidade e baixa resistência ao choque, principalmente ao aplicá-lo no corte de toras com casca, fatores que foram decisivos para busca de um material mais conhecido.

Até meados de 1980, os materiais mais empregados foram os aços rápidos e o metal duro, cabendo às ligas fundidas algumas aplicações onde se deseja um material mais duro que o aço rápido e menos frágil ou mais tenaz que o metal duro. Outros materiais a serem considerados são: o diamante e o cermet, estes últimos um misto de metal e material cerâmico.

Com o avanço científico e tecnológico obtido pelos fabricantes de ferramentas, chegaram-se às ferramentas de metal duro revestida com elementos de liga através de tratamento térmico superficial, conferindo a ferramenta uma maior dureza e melhor resistência ao desgaste.

Gonçalves (2000) afirma que a seleção de um material para ferramenta de corte depende de uma série de fatores, entre eles:

- Material da peça a ser usinado;
- Natureza da operação de usinagem;
- Condição da máquina operatriz;
- Forma e dimensões da própria ferramenta;
- Custo do material para a ferramenta;
- Emprego de refrigeração ou lubrificação;
- Grandezas de corte;
- Condições de usinagem etc.

Os fatores “grandezas de corte” e “condições de usinagem” são tidos como determinantes na escolha da ferramenta apropriada, por serem os parâmetros, área de seção do cavaco e velocidade de corte responsáveis diretos pela produtividade e vida da ferramenta, respectivamente. A condição acima será responsável pelo consumo energético no processo e a conseqüente transmissão de potência na forma do rompimento das fibras da madeira e o desprendimento de calor no ponto de contato.

Dos materiais usados como ferramenta de corte para a madeira, podemos citar os principais como aço ao carbono, aço rápido, metal duro e Stellite.

Lehmann (2010) cita que materiais como diamante podem ser usados embora tenham custo muito alto e não se aplicam na prática a processos industriais do serramento da madeira.

Aço ao carbono

É uma liga ferrosa onde o carbono é o elemento de liga principal. (CALLISTER, 2008)

Aço liga ou aços rápidos

É uma liga ferrosa (ou baseada no ferro) que contém concentrações apreciáveis de elementos de liga (outros elementos que não o C e quantidades residuais de Mn, Si, S e P). Esses elementos de liga são adicionados em geral para melhorar as propriedades mecânicas e de resistência à corrosão. (CALLISTER, 2008).

Ferraresi (1970) cita a classificação dos aços rápidos em seis classes, segundo a AISI :

Classe 610 – ao tungstênio

Classe 620 – ao tungstênio cobalto

Classe 630 – ao molibdênio

Classe 640 – Ao tungstênio- molibdênio

Classe 650 – Ao tungstênio-molibdênio-cobalto.

Existem aços rápidos com dureza superior a 65 HRC, e que conservam sua dureza até 650 °C.

São muito usados para fabricação de lâminas destinadas ao corte de aços, contudo sua utilização para madeira não é difundida.

Metal Duro

O metal duro é um produto da metalurgia do pó, designado também como carboneto (carbeto) de tungstênio sinterizado ou ainda chamado de *widia* (adaptado do alemão *wie Diamant* – como diamante).

Os seus constituintes fundamentais são misturados na forma de pós e submetidos a um processamento que compreende compressão, sinterização, retificação, etc..

Essencialmente o metal duro é formado por dois constituintes, que são um carboneto extremamente duro e de alta resistência ao desgaste e um elemento aglomerante ou ligante, podendo ser um metal do grupo do ferro, usualmente o Cobalto, que tem a função de cimento e é responsável pela tenacidade do material. (CALLISTER, 2008).

CERATIZIT, Fabricante de pastilhas de metal duro para o suprimento de fabricantes de serras circulares e fita, apresenta em seu catálogo geral algumas especificações e recomendações de ligas para o processamento da madeira, conforme a Tabela 2.7 abaixo.

Tabela 2.7 – Recomendação das qualidades de metal duro para trabalhar a madeira e seus principais compósitos (adaptado de CERATIZIT, 2011)

Material	Nomenclatura Metal Duro (ISO 513/2004)			
HDF		K01	K01; < K01	< K01
Aglomerado	K10; K20	<K01	K01; < K01	K01
MDF		K01	K01; < K01	< K01
Madeira Maciça dura		K10; K20		
Madeira Maciça macia	K20	K10	K01; k20	> K40
Desdobro de Toras	K20	K30; K10	< K40	> K40
Nível de desempenho	Aceitável	Bom	Muito bom	Ótimo

Nomenclatura : < menor; > maior.

CVD

Sá (2010) afirma que deposição química a vapor é um processo de tratamento termo químico de superfícies por meio da deposição de materiais como TiN e TiC utilizando vapores. A importância dos revestimentos cresceu na indústria metal mecânica, em particular nas ferramentas de usinagem, em razão da proteção contra os desgastes abrasivo, redução do atrito no corte, e possibilidade de corte a seco. Esses revestimentos podem ser de mono ou multicamadas, propiciando uma flexibilidade na seleção dos sistemas de acordo com as necessidades de cada aplicação.

O sucesso dos revestimentos em ferramenta de corte resulta das propriedades mecânicas (dureza a quente, resistência ao desgaste e tensões compressivas) e físicas (estabilidade química, boa adesão, resistência à corrosão), tanto à temperatura ambiente quanto à temperaturas mais elevadas. Todas as ferramentas de corte podem ser revestidas, e este revestimento deve ser precedido de estudo técnico e econômico.

O processo CVD, para revestimento de TiC/TiN, utiliza um reator aquecido à temperatura superior a 1000°C e baixa pressão (0,51Torr) no qual há um fluxo contínuo de H₂, N₂ e o TiCl₄. Os gases da atmosfera dissociam-se em íons no interior do reator que são impulsionados para a superfície do inserto.

As temperaturas elevadas promovem alterações estruturais em aços rápidos, dificultam a obtenção de tolerâncias das ferramentas o que aumenta as fases do processo CVD. Os revestimentos depositados por CVD têm espessura entre 5 e 20 µm. (SÁ, 2010).

PKD - Diamante Policristalino e Diamante Monocristalino

Os diamantes sintéticos normalmente utilizados pela indústria são produzidos nas seguintes formas: monocristalino (até 10 mm) e policristalino (30 mm de diâmetro máximo).

O processo de síntese do carbonado (nome do elemento) ocorre da seguinte maneira: um arranjo especial de grafite e metal é submetido a altas pressão e temperatura de modo a atingir a região de estabilidade termodinâmica do diamante. Após a compressão inicia-se o aquecimento. Quando a temperatura da liga atinge o seu

ponto eutético, ela começa a penetrar no grafite, iniciando assim o processo de transição de fase do grafite em diamante. (RANGEL *et al.*, 2008).

Stellite

O Stellite é um liga inventada em 1922, por Ellwood Haynes, e desenvolvido principalmente para a usinagem de metais, sendo posteriormente suplantado por materiais de resistência mecânica mais elevadas.

Salles (1990) afirma que esta liga possui a vantagem de apresentar a dureza a frio um pouco inferior, que a dos aços rápidos de alta liga, mas conservam em contra mão, esta dureza a temperaturas mais elevadas, a mais de 700°C. Uma outra vantagem do Stellite é possuir ponto de fusão baixo, comparado a outros aço ligados, de em média 1300°C.

O Stellite é adicionado na forma de pastilhas soldadas ou fundido e depositado na forma de gotas sobre a ponta do dente. Após a fixação, o procedimento é retificar o perfil do dente a fim de dar-lhe a forma adequada e posterior afiação.

Existe quatro principais variações de Stellite, com pontos de fusão diferentes. No caso da nomenclatura francesa, dividem-se em grau 1, 6, 8 e 12, com temperatura de fusão de 1250°C, para os graus 1 e 12 e de 1310°C e 1380°C, para os graus 6 e 8 respectivamente. Os Stellites grau 12 e 1 são os mais usados por possuir menor ponto de fusão e desta forma maior facilidade para o uso. O material Stellite apresenta dureza média de 50 e 55 Rockwell C, respectivamente.

Na indústria inglesa, existe uma outra variedade de Stellite, a base de níquel, e os mais usados são os de grau 50 (77% de níquel) com propriedades semelhante do grau 1 francês e o grau 60 (70% de níquel) semelhante ao grau 12.

A seguir, está ilustrado na Tabela 2.8, a composição do Stellite de graus 1 e 12, sua nomenclatura americana e composição química aproximada. (SALES, 1990).

Tabela 2.8 - Composição do Stellite e suas nomenclaturas
(adaptado de SALES, 1990)

Nomenclatura	Liga aproximada (%)	
	Grau 1	Grau 12
Francesa		
Americana	Stellite 20	Stellite 12
Carbono	2,5	1,8
Cromo	33	30
Tungstênio	13	9
Cobalto	50	58
Outros	1,5	1,2

Observa-se na Figura 2.16 o perfil de perda da dureza em função da temperatura de trabalho, para algumas ligas ferrosas e não ferrosas usadas como ferramentas de corte no processamento da madeira.

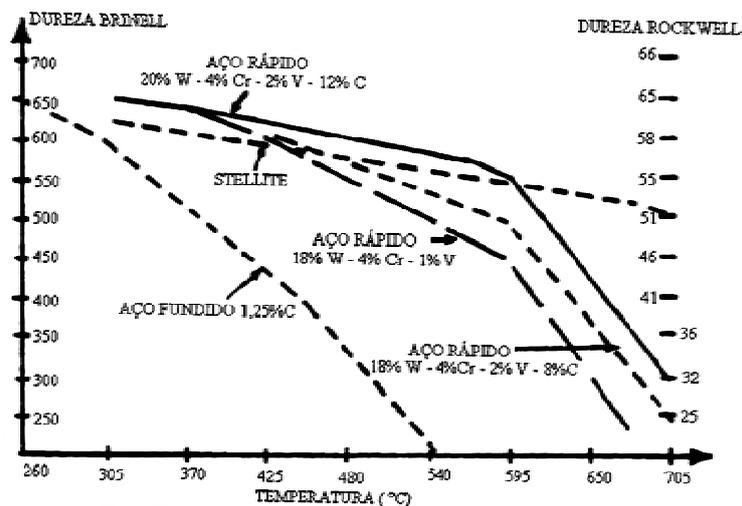


Figura 2.16 -

temperatura na dureza dos materiais (SALES, 1990)

Influência da

VOLLMER [2000?] compara na Figura 2.17 os materiais usados para ferramentas de corte, citando sua dureza máxima e o ponto ideal da dureza para a usinagem de madeira.

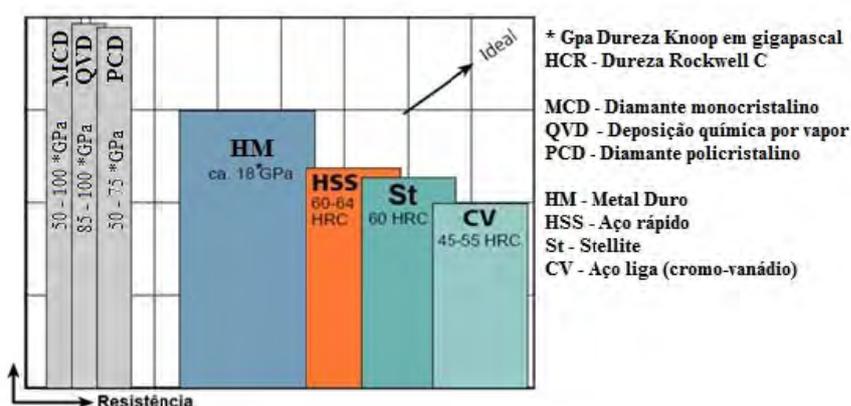


Figura 2.17 - Dureza dos materiais empregados em ferramentas de corte (Adaptado de VOLLMER, [2000?])

Sales (1985) citado por Gottlob (1996) concluiu que apesar da facilidade de afiar e menos frágeis, as ferramentas de aço rápido são as mais caras. O metal duro mostrou-se mais vantajoso, porém, a manutenção de Stellite é mais fácil do que a do metal duro, que não necessita de uma afiadora especial e é menos frágil que o metal duro. Se uma pequena parte de uma pastilha de metal duro lascou durante a operação, toda a ferramenta está perdida, diferente do Stellite, onde não existe problema em se reparar este tipo de ferramenta se for usado um equipamento para deposição por plasma ou houver conhecimento de operadores para aplicação manual de Stellite;

Aspectos relativos a saúde ocupacional do uso do Stellite também são descritos. Kennedy *et al.* (1995) estudaram a exposição dos trabalhadores aos elementos químicos presentes nas ligas de Stellite, como o cobalto e o cromo, em oficinas de afiação e manutenção de serras. Relatam em seu estudo com 118 afiadores de diversas regiões do Canadá, que a exposição ao Cromo está mais associada aos afiadores que usam o stellite como ferramenta de corte. Demonstraram que o processo de soldagem do Stellite está associado com um aumento significativo de sintomas nasais, tosse e uma pequena queda em seu poder de inspiração. A exposição média ao Cobalto dos trabalhadores analisados, estava abaixo de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bem abaixo da concentração

aceitável permitida no Canadá. Afirmam que os efeitos da exposição aos elementos químicos acima foi muito menor nos afiadores que utilizavam processos de afiação com fluidos refrigerantes, como óleo solúvel na afiação. Não recomendam afiação a seco tanto para o metal duro quanto para o Stellite.

2.6 Serramento de madeiras por serra de fita

Para o serramento de toras de madeiras por meio de serra fita, é utilizado normalmente o equipamento chamado serra de fita vertical. A escolha do tamanho do diâmetro do volante da serra de fita está relacionado diretamente a produção desejada. Diâmetros de volantes maiores permitem maior potência instalada e assim, maior altura de corte e velocidade de alimentação.

O transporte longitudinal da tora de madeira durante o processo de corte é feito por um carro chamado de carro porta toras. Este possui dispositivos que permitem rodar a tora, aproximar com precisão e gerar o corte desejado dentro de um padrão pré definido. A Figura 2.18 mostra uma serra de fita, seu volante superior, a serra instalada e o carro porta toras.



Figura 2.18 – Carro porta toras e serra fita modelo pesado (SCHIFFER, 2011)

As características de aplicação das serras de fitas e carros porta toras, dependem de diversos fatores.

British Columbia Institute of Technology – BCIT (2002) cita que a eficiência e a qualidade da operação de corte é afetada por muitos elementos distintos, os quais podem ser caracterizados em quatro grupos principais: tipo e condição da madeira (tora), nível de manutenção dos equipamentos, projeto e design das serras para as operações de usinagem e a manutenção/afiação das ferramentas de corte. Na variável tipo e condição da madeira, as características que afetam a performance de corte relativo a madeira são: espécies, densidade, teor de umidade, nós e presença de defeitos, se congelada ou não e as tensões de crescimento presentes na tora.

Relativamente a manutenção seja da serra de fita ou mesmo da serra circular, os pontos fundamentais para melhor eficiência do processo se concentram nos sistemas de guias, de alimentação, de tensionamento da fita, na lubrificação e refrigeração da ferramenta de corte e na definição da potência do motor.

O projeto da ferramenta de corte é obtido em função das espécies de madeira que serão cortadas e das metas de produção e da operação de corte. Não se refere apenas a geometria do dente, mas também a largura e a espessura da serra e em função de uma consideração cuidadosa dos seguintes fatores : direção de corte, material da ferramenta, dureza da ferramenta (Rockwell C), dimensões do equipamento (diâmetro do volante, largura e comprimento da serra), espessura da serra, número de dentes, geometria do dente, geometria da garganta do dente, folga lateral (tamanho do dente em relação a alma da serra), material da ponta do dente e as tolerâncias dimensionais admissíveis do produto.

O último ponto a ser considerado na busca da melhor produtividade no corte da madeira está no processo de preparação e manutenção das ferramentas, também chamado de “afiação” ou “laminação”.

Esse processo é de vital importância para uma boa performance do corte.

A habilidade do “afiador/laminador” e as ferramentas e equipamentos devem ser adequados a assegurar que as serras possam ser mantidas em trabalho no volante da serra fita por mais tempo.

Os fatores chave para o sucesso nesse ponto são: máquina de afiar, manutenção dos equipamentos da afiação, a soldagem das trincas e dos dentes, recalque e afiação, inserção de pastilhas de carbeto ou Stellite; a bancada de laminação, correta escolha dos rebolos (diâmetro, tipo e granulometria).

Sales (1990) fez diversos ensaios com diferentes espécies de madeira tropical, utilizando madeiras de alta densidade, altíssima densidade e de baixa densidade. Essas espécies possuem os mais variáveis teores de sílica, fazendo uma grande gama de combinações e testes em busca de resultados práticos. Os ensaios citados correlacionam a influência da velocidade de corte, da densidade da madeira, do teor de sílica e a perda ou o recuo do gume do dente.

Sales (1990) propôs uma classe de abrasividade em função do teor de sílica e da densidade de diversas espécies de madeira tropical.

O uso de ferramentas com aplicação de Stellite pode seguir uma regra simples, levando em consideração o teor mínimo de 0,05% de SiO_2 e sua densidade na espécie a ser usinada como parâmetro de decisão. Dentro dessa faixa de quantidade de sílica presente na madeira, aplica-se assim três classes de densidade diferentes, abaixo de 600 kg/m^3 , acima de 900 kg/m^3 , e entre essas, conforme descrito na Tabela 2.9, onde se pode definir a aplicação ou não do material Stellite no gume da ferramenta.

Tabela 2.9 – Grau de abrasividade em função da densidade. Adaptado de Sales (1990).

Recomendações para aplicar Stellite				
Densidade	(kg/m^3)	Menor que 600	Entre 600 e 900	Maior que 900
Taxa de Sílica	até 0,05	Não “estelitar”	A escolha	“estelitar”
(%)	maior 0,05	“estelitar”	“estelitar”	“estelitar”

Loehnertz, Cooz e Guerrero (1994) caracterizaram o corte de folhosas em cinco países tropicais diferentes: Gana, Brasil, Venezuela, Indonésia e Malásia.

A densidade da madeira e a presença de sílica nela implicam em uma mudança no método utilizado para o corte das folhosas. A serra fita é a máquina mais comum e é empregada em várias configurações.

Os parâmetros das lâminas da serra e procedimentos da operação variam de acordo com a natureza das espécies a serem cortadas e influenciadas tanto pelo local próprio como pelo conhecimento técnico do processo.

O problema mais comum relatado inclui uma fraca manutenção do corte pela ferramenta, falta de pessoal treinado, equipamentos obsoletos, inadequadas geometria de dentes e resistência ao desgaste. Muitos são os problemas relatados para manutenção, uns usando serras desgastadas, fundo da garganta queimada pela afiação, tensões incorretas e desiguais, raio desigual, rebolos errados, rolamentos dos volantes com defeitos, serras muito espessas para diâmetros de volantes inadequados e vibração do equipamento.

Os principais problemas apontados no processamento industrial da madeira no Brasil foram: natureza altamente seletiva de exploração florestal; escassez de pessoal qualificado em todos níveis; equipamentos obsoletos e infra estrutura e manutenção inadequada.

Como a oferta de espécies tradicionais diminui gradualmente, novas espécies que entram no mercado necessitam de cuidados maiores no processamento como um resultado de alto teor de sílica, de alta densidade, ou o esforço de crescimento desordenado.

Loehnertz, Cooz e Guerrero (1994) citam a respeito de algumas espécies de madeira Brasileira :

Ipê (*Tabebuia* sp): Alta densidade, uma espécie abundante, difícil de cortar, 0,85-0,97 de densidade básica, não citando a taxa de silício da espécie.;

Tauari (*Couratari guianensis*, *C. oblongifolia*, *C. pulchra*): Densidade básica de 0,50, teor de sílica acima de 0,8% em alguns indivíduos;

Itaúba (*Mezilaurus Itauba*): alta densidade e alto teor de sílica. 0,96 de densidade básica; não citando o valor do teor de sílica.

Parajuba (*Dialium guianense*): alta densidade e alto teor de sílica. 0,81-0,93 de densidade básica, não apresentando o valor do teor de sílica.

Afirmam ainda que a espécies do Pará são diferentes do que em outras áreas do Brasil, a madeira é muito verde e dura, e a serra é a principal limitação. Como

resultado das dificuldades, eles testemunharam e viram a serra ser trocada diversas vezes durante o corte.

Existem inúmeras perdas de lâmina, e as lâminas são afiadas de três a quatro vezes por dia. O rendimento pode ser baixo, com talvez 80% da madeira perdida, 60% na floresta e 20% na fábrica, dando apenas 20% de rendimento em uma tora.

Além disso, comentam que a manutenção e problemas de segurança, que os operadores das indústrias madeireiras têm, são constantes e não são corrigidos. Os problemas mais comumente relatados na serraria incluem a manutenção mecânica, a falta de pessoal treinado, a presença de equipamentos obsoletos, a geometria inadequada dos dentes da serra e baixa resistência ao desgaste dos aços utilizados.

Citam os autores que as principais oportunidades para a pesquisa parece ser nas áreas de geometria de dente da serra e as características de desgaste. (LOEHNERTZ, 1994).

Meltzer & Ivanov (1998) Utilizam um método para monitorar a distribuição de frequência das vibrações transientes não estacionárias que aparecem no processamento da madeira ou derivados destas (paineis particulados) presentes na ferramenta de corte. Os autores desenvolveram dois algoritmos que reconhecem o estado momentâneo do desgaste da ferramenta. Esse estudo foi feito em serras circulares, onde cada ferramenta pode ser monitorada independentemente, descrevendo seu nível de desgaste independentemente.

Sandi & Roque (1998) avaliaram a eficiência das serras fitas com as características dos dentes que são comumente usados pelas indústrias costariquenses, assim como os tratamentos recomendados para madeiras duras (dentes com Stellite). Discorreu a respeito da espécie de *Dialium guianense* (Aubl) Sandwith, que não é utilizada na Costa Rica apesar de sua grande abundância, por ser considerada uma madeira extremamente dura e abrasiva. Da mesma forma determinou o conteúdo de sílica da espécie em duas condições, a primeira em estado úmido, perto de seu conteúdo de umidade máximo, a segunda condição com madeira cortada a 6 meses.

O *Dialium guianense* (Aubl) Sandwith Costa Rica, conhecido como tamarindo no México, é uma espécie abundante em florestas primárias; e em florestas que estão em estágio de regeneração (florestas secundárias). Esta espécie apresenta duas

características importantes, densidade básica (0,83 g/cm³) e uma alta porcentagem de sílica (0,73%) o que provoca um maior desgaste das ferramentas de corte no momento do processamento, tanto nas operação básicas da serraria como na remanufatura.

Esta situação, juntamente com um elevado grau de abundância das espécies comerciais, que geralmente são de fácil trabalhabilidade, resultou que na Costa Rica esta espécie não foi utilizada comercialmente. Por outro lado, as serrarias foram criadas principalmente para processar madeiras comerciais. As características de cada uma das serras estudadas e dos dentes são apresentados na Tabela 2.10.

Em ambos os casos foram usadas serras reforçadas com dentes com Stellite para aumentar a durabilidade da lâmina. Os resultados de desgaste utilizando dentes de serra tratados com Stellite foram menores quando utilizados serras sem nenhum tipo de tratamento, e também apresentou menor desgaste por área e uma velocidade de desgaste menor.

Atualmente, as serrarias existentes na Costa Rica para processar este tipo de madeira precisam ter algumas mudanças básicas, uma delas a ser modificada é a geometria do dente, a outra é a velocidade de corte para que então se cumpram as recomendações dadas.

Tabela 2.10 - Parâmetros de corte empregados nas serrarias (Adaptado de SANDI & ROQUE, 1998)

Tipo de característica	Serraria 1	Serraria 2
Diâmetro da serra (mm)	1500	1500
Largura da serra (cm)	25	20
Espessura da serra (mm)	1,47	1,47
Passo do dente (mm)	38	38
Altura do dente (mm)	15	16
Ângulo de saída (°)	25	30
Ângulo de folga (°)	17	15
Ângulo de cunha (°)	48	45
Trava do dente (mm)	0,75	0,43
Velocidade de alimentação (m/min)	23	4.3
Velocidade de corte (m/s)	19	30

Na determinação da porcentagem de sílica presente na madeira *Dialium guianense* (Aubl) Sandwith, encontrou-se que em uma tora contendo umidade de 35%,

obteve-se 0,73% de sílica, e em uma tora com teor de umidade de 81% apresentou uma porcentagem de sílica de 0,40%.

Isto demonstra porque serrarias de madeiras recém abatidas apresentam menor quantidade de sílica quando comparados a madeiras com menor teor de umidade.

O aumento do teor de umidade da tora, por um lado aumenta a resistência mecânica da madeira e por outro lado temos o teor de sílica diminuído. (SANDI & ROQUE, 1998).

Okai, Tanaka e Iwasaki (2005) apresentam um comparativo de cortes de três espécies de madeira, com serra de fita, que possui a aplicação de diferentes materiais na ponta dos dentes.

Foram feitas considerações sobre a dureza das ferramentas de corte, o desgaste das ferramentas, a precisão da largura do corte e as superfícies de acabamento da peça, além das análises dos teores de sílica e flexão estáticas das peças cortadas para esclarecer a influência de sais minerais e as propriedades mecânicas da madeira.

As espécies analisadas foram *Elais guineensis* (palmeira, palma, palma-de-dende), *Strombosia glaucescens* (Afina), e *Cryptomeria japonica* (Sugi). As ferramentas de corte foram feitas a partir aços rápidos (HSS) e Stellite designados por SUS420J2 (X30Cr13 na norma DIN, aço inox resistente ao calor) e SKH 51 (aço de alta-liga equivalente ao ASTM M2, não contemplado na DIN), revestidos por TiN (nitreto de titânio, cerâmica de revestimento), de acordo com a norma da Japan Industrial Standards (JIS).

Os resultados obtidos mostram que o maior desgaste foi na usinagem com a ferramenta feitas com SUS420J2 com ponta revestida de TiN, cortando palmeira, apesar da espécie Afina possuir maiores propriedades de resistência mecânica que a palmeira.

Já a ferramenta feita de Stellite apesar de possuir menor dureza (HV 580 ou HRC 54,1) obteve menor desgaste da ponta de corte na usinagem de Afina (madeira mais dura). A explicação sobre o desgaste maior de uma ferramenta mais resistente cortando uma madeira mais macia está nas altas proporções de sílica contidas na palmeira, em todas as direções de corte. A quantificação destes teores foi realizada através de microscopia eletrônica.

Portanto, os estudos têm demonstrado que o acúmulo de sílica em algumas espécies pode ter efeito significativo sobre o desgaste de ferramentas de aços rápidos.

Okai, Mitchual e Frimpong-Mensah (2006) trabalhando com técnicas de otimização para minimizar a deflexão do dente e a variação na espessura da tabua serrada, propõem que o controle da lâmina é um elemento essencial para o máximo rendimento e produtividade. Um dos componentes-chaves deste controle é a rugosidade (acabamento superficial da superfície afiada) que minimiza a variação da lâmina (deflexão). Nesse estudo, a superfície de folga ótima da serra fita conduz a minimização da deformação da serra e da variação da largura de corte, usando serras com pastilhas de Stellite e serras de dentes recalcados ao processar a espécie *Triplochiton scleroxylon* (uma folhosa tropical). Os resultados obtidos são resumidos em: precisão de corte para serras de dentes recalcados foi melhor do que para serras com pastilhas de stellite. Uma relação quadrática foi estabelecida entre variação de corte e superfície de folga do dente com stellite. Os desvios padrões mínimos das espessuras entre uma mesma tábua foram obtidos quando a superfície de folga do dente ocorreu entre 0,66mm e 0,73mm. A metodologia utilizada por OKAI (2006) para controlar as dimensões das tabuas estão demonstradas na Figura 2.19, abaixo.

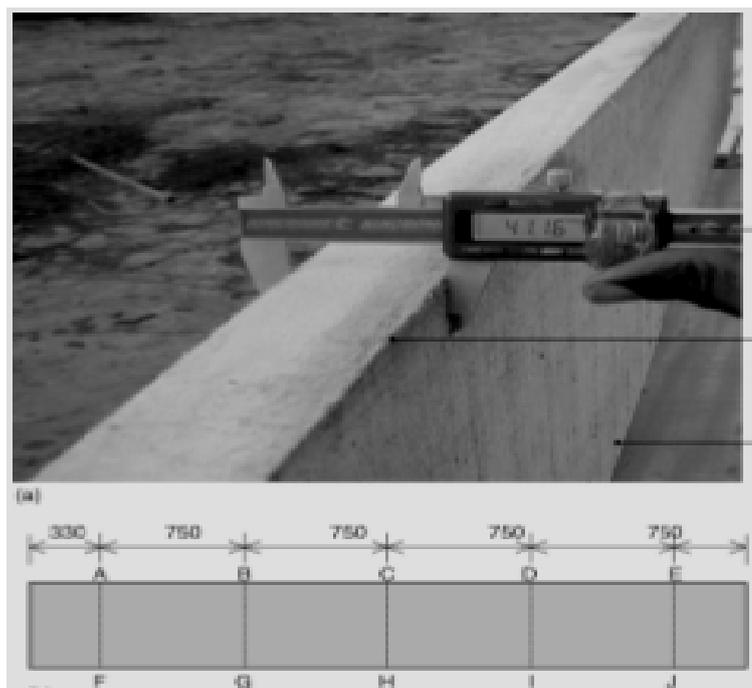


Figura 2.19 – Metodologia para monitorar a variação dimensional na obtenção de tábuas serradas.

Adaptado de OKAI (2006)

2.7 Desgaste de ferramenta de corte

Ferraresi (1970) descreve diferenças entre o conceito de avaria e desgaste de ferramenta. Segundo o autor, durante a usinagem ocorre o desgaste nas superfícies de saída e de folga da ferramenta. Para facilitar o estudo da usinagem costuma-se padronizar os desgastes de ferramentas chamando-os como desgastes convencionais. Os desgastes convencionais são medidos no plano ortogonal da ferramenta, distinguindo-se os desgastes originados na superfície de saída, na superfície de folga ou incidência e o deslocamento da aresta cortante. Na superfície de saída, tem-se o desgaste da profundidade da garganta do dente, largura e distância do centro da garganta a aresta de corte. Na superfície de incidência convencionam-se o desgaste como largura de desgaste. O deslocamento da aresta cortante, deve ser medido segundo a intersecção da superfície de saída com o plano de medida e o desgaste medido sobre a bissetriz do ângulo de cunha. As avarias das ferramentas são consideradas as quebras, trincas, sulcos distribuídos em forma de pente e as deformações plásticas que ocorrem no gume cortante durante a usinagem.

Chardin (1971) citado por Gottlob (1996) apresenta os principais fatores que influenciam o desgaste dos dentes de serras para usinagem de madeira, como a seguir:

Influência da espécie de madeira: o autor afirma que se o desgaste for expresso em termos de perda unitária de massa de metal por unidade de comprimento de corte, dependendo da espécie, esta razão pode chegar ao valor de 1:120.000. Para espécies que contém sílica, esta razão pode aumentar de 10 a 20 vezes;

Influência do material da ferramenta: considerando o corte de madeiras com sílica, a resistência do aço rápido é 5 vezes superior ao aço carbono, a do stellite chega a 20 vezes do aço carbono, e o metal duro possui resistência superior 50 vezes do que o aço carbono;

Influência do nível de umidade: nas madeiras que contém sílica, a umidade

influencia somente nas espécies de média e baixa densidade. Nestas espécies, a madeira seca chega a ser 10 vezes mais abrasiva que as madeiras verdes devido aos cristais de sílica. Para as madeiras que não contém sílica, o corte de madeiras verdes é 5 vezes mais abrasivo que o corte de madeira seca devido ao efeito eletroquímico;

Influência da espessura do cavaco: em geral, o aumento da espessura do cavaco leva a um aumento do percurso de corte de madeira com um nível de desgaste uniforme, pois, o desgaste de unidade por percurso serrado é menor. Somente para serras de aço comum cortando madeira de alta densidade, este aumento da espessura do cavaco não é benéfica, porque para este aço, ocorre deformação plástica da aresta de corte.

Sales (1990) afirma que o desgaste do dente de serra durante o processo de serragem é um fenômeno complexo resultante da interação de vários fatores dependentes, tais como:

A natureza da madeira (propriedades físicas e mecânicas);

Da ferramenta (forma geométrica e material constituinte);

Das condições de trabalho (velocidades de corte e de alimentação, altura do corte).

Os fenômenos físicos que propiciam um maior ou menor grau de desgaste também são subdivididas por sub classes, como: a temperatura do dente em trabalho e a abrasividade da espécie.

A Influência de certos parâmetros de corte sobre o desgaste do dente também são citados tais como :

A taxa de umidade da madeira;

A velocidade de corte;

A altura do corte;

O material do dente.

O desgaste resultante do atrito entre madeira e ferramenta tem por origem vários fenômenos mecânicos e físico-químicos.

A importância destes últimos depende muito da natureza da madeira processada e dos parâmetros de corte. Dentro das condições mais comuns de processamento da madeira tropical, e particularmente para as madeiras densas, os fenômenos de origem mecânica são preponderantes.

As fibras comprimidas no comprimento do corte relaxam-se após seu corte e produzem atrito sobre a superfície de folga principal e as laterais. A ação do cavaco manifesta-se sobre a superfície de saída, sendo que a intensidade de atrito criado depende diretamente da resistência mecânica do cavaco, a qual aumenta com a espessura e densidade da madeira e diminui com o teor de umidade.

Um dente que inicia o corte a temperatura ambiente, pode atingir uma temperatura de aresta bastante elevada no final do corte. A temperatura aumenta com a espessura do cavaco e com a altura de corte a serrar e pode ultrapassar 400°C.

O principal elemento causador de desgastes dos dentes é o óxido de silício (SiO_2) chamado de sílica. Esta se encontra na madeira sob forma de cristais que são mais duros que o aço, qualquer que seja a sua composição, e acarreta um micro-desgaste, toda vez que um grão de silício entra em contato com o dente.

A densidade da madeira contribui com a resistência da matriz na qual se encontram alojados os cristais de silício. A perda de dureza da ferramenta por elevação da temperatura é um dos fatores que se agravam com o grau de abrasividade da madeira.

Um critério que permite estimar de modo irrefutável a abrasividade é o teor de silício, expresso em percentagem da massa total da matéria lignosa anidra, o que é determinado por análise química.

Este teor de silício é bastante variado de uma espécie para outra, e mesmo na mesma espécie, de uma árvore para outra.

O teor de sílica entre as espécies com maior e menor teor deste, varia em uma de menos de 0,001% para as madeiras menos silicosas a mais de 1% da sua massa para madeiras mais silicosas. Dentro de uma mesma espécie de árvore, podem variar de 1 a 10 dependendo do local de crescimento da árvore.

Sales (1990) afirma que o teor de sílica e a densidade da madeira são características determinantes da abrasividade.

O corte de uma madeira mais densa e pouco silicosa gera um desgaste maior do que um corte de uma madeira menos densa porém mais silicosa, devido a alta temperatura de trabalho no dente. O grau de abrasividade influencia diretamente a duração da vida das laminas de serra e condicionam a escolha dos materiais para manufatura das ferramentas. Todas as espécies de madeira nas quais o teor médio de SiO₂ ultrapassa 1%, são impróprias ao processamento industrial com as ferramentas que se conhece até o presente momento.

Sales (1990) propõe uma classe de classificação de abrasividade de 1 a 10. A Tabela 2.11 ilustra essa classificação proposta pelo autor contendo diversas espécies florestais tropicais conhecidas, onde não se define com clareza o critério para a classificação citando assim, espécies como *Goupia glabra* a classe de 2 a 3 e a espécie *Tieghemella spp* a classe 10 de abrasividade, o máximo limite proposto pelo autor.

Tabela 2.11 – Classe de abrasividade (Adaptado de SALES, 1990)

Espécies		Abrasividade
Nome comum	Nome científico	Classificação
Makore	<i>Tieghemella spp</i>	9-10
Angélique	<i>Dicorynia guianensis</i>	8-9
Balata	<i>Manilkara spp</i>	7-8
Amarante	<i>Peltogyne spp</i>	6-8
Maho	<i>Eschweilera spp</i>	7-9
Courbaril	<i>Hymenea spp</i>	6-7
Assao	<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	5-6
Acacia Franc	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	4-6
Dodomissinga	<i>Parkia spp</i>	4-5
Niangon	<i>Tarrietia spp</i>	3-5
Wapa	<i>Eperua spp</i>	3-4
Aieoueko	<i>Dimorphandra hohenkerkii</i>	2-4
Manil	<i>Symphonia globulifera</i>	4-5
Gonfolo	<i>Qualea spp</i>	2-3
Chawari	<i>Caryocar spp</i>	2-3
Kobe	<i>Sterculia pruriens</i>	3-4
Parcouri	<i>Platonia insignis</i>	2-4
Goupi	<i>Goupia glabra</i>	2-3
Simarouba	<i>Simarouba amara</i>	1-3
Sipo	<i>Entendrophragma utile</i>	1-2
Kouali	<i>Vochsia spp</i>	1-3
Yayamadou	<i>Virola spp</i>	1-2

A Tabela 2.12 apresenta as classes de abrasividade e as relaciona com o teor de sílica, adaptando assim a Tabela 2.11 aos valores citados por Sales (1990).

Tabela 2.12 - Espécies, teor de sílica, densidade 12% e classe de abrasividade (Adaptado de SALES, 1990)

Espécies	Nome científico	Teor	Densidade	Classe	
		SiO ₂ %	12% kg/m ³	Abrasive. min max	
Fromager	<i>Ceiba pentandra</i>	0,009	350	1	2
Ayous	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	0,02	400	1	4
Sipo	<i>Entandrophragma utile</i>	0,007	600	1	2
Sapelli	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	0,01	750	1	2
Andoung	<i>Monopetalanthus heitzii</i>	0,01	500	6	8
Mutenye	<i>Guibourtia aroidiana</i>	0,001	850	6	8
Okoumé	<i>Aucoumea klaineana</i>	0,2	440	7	9
Movingui	<i>Distemonanthus benthamianus</i>	0,2	700	7	8
Angelique	<i>Dicorynia guianensis</i>	1,4	800	8	9
Safoukala	<i>Dacryodes heterotricha</i>	0,45	750	-	10

No trabalho realizado publicado na revista HOLZ und ROH, por Klamecki (1979)¹, uma extensa revisão bibliográfica é apresentada a respeito do desgaste de ferramentas, destacando os seguintes trabalhos pontuados:

- Antoine (1963) mediu a potência requerida na ponta da serra e monitorou o desgaste da mesma. Nestes ensaios, o desgaste diminuiu reduzindo velocidade de corte e uma relação linear entre o desgaste e a mudança de velocidade é relatado;
- Chardin e Froidure (1969); Esse trabalho apresenta dados de vida da ferramenta e geometria da aresta gasta para a serragem de um grande número de espécies tropicais. A conclusão de que a máquina impõe condições que, em muitos casos, pode estar relacionado ao desgaste da ferramenta e talvez mais importante, estes parâmetros geralmente podem ser facilmente alteradas em operações, por exemplo,

¹ KLAMECKI, B.E.; **A Review of Wood Cutting Tool Wear Literature**. Holz und Roh- und Werkstoff. Vol 37. Springer Verlag. 265-276.1979.

mudanças na velocidade de corte;

- Timonen (1970) indica que a perda da ponta da ferramenta aumenta o raio linearmente com a velocidade de corte (para um determinado comprimento de corte) até cerca de 50 m/s. Em altas velocidades de corte o desgaste aumenta rapidamente em uma relação não linear;
- Koga Nanasawa (1973) afirma que o número de dentes da serra e a velocidade de alimentação têm um efeito muito pequeno no desgaste;
- Decena *et al.* (1974); comparam o desgaste de aço de rápido e Stellite na ponta dos dentes da serra. Foram utilizados: aço rápido, Stellite, alternadamente aço rápido e Stellite. No corte mais difícil para máquinas, o Stellite durou mais do que o aço rápido; O mesmo artigo afirma que a natureza química da madeira pode desempenhar um papel importante na determinação da redução das taxas de desgaste da ferramenta;
- Klamecki (1979) cita que Atack e Tabor (1958), Mackenzie e Karpovich (1968) desenvolveram pesquisas e afirmam que o contato dos extrativos da madeira com lubrificantes eficazes diminuem o coeficiente de atrito da madeira no deslizamento do aço.

Uma excelente contribuição para o tema do desgaste e vida de ferramentas foi dada por Gottlob (1996)² onde abaixo estão pontuados algumas citações apresentadas pelo autor.

- Farmer (1962), tratando da corrosão dos metais em associação com a madeira, afirmou que a corrosão se dá de uma maneira intermediária entre a exposta à atmosfera e a imersão total num líquido. Para fins práticos, o valor do pH de aproximadamente 4,0 a 4,3 representa um limite, abaixo do qual a velocidade de corrosão do aço aumenta rapidamente em presença da umidade;
- Hillis e Mckenzie (1964) pesquisaram o ataque químico nas facas de corte da madeira, mostrando que a corrosão química é um dos fatores de desgaste da

² GOTTLOB, W. J. **Determinação da vida de ferramentas de aço AISI classe D-6 do stellite-1 na usinagem de madeira de “*Eucalyptus grandis*”**. 1996. 152p. Tese (Doutorado em engenharia mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

ferramenta. Os ácidos orgânicos e polifenóis são os principais agentes corrosivos encontrados na madeira;

- Mckenzie (1975) analisou o desgaste de uma ferramenta de corte de aço com 2% de C e 12% de Cr, simplesmente afiado e posteriormente polida, com velocidade de corte de 3,3m/s. Observou-se que o ângulo de folga é fundamental no controle do desgaste da ferramenta, sendo que quanto maior o ângulo de folga, maior o desgaste. O autor conclui que os ângulos de folga e saída não podem ser aumentados sem levar em consideração a perda mais rápida da afiação da aresta de corte. Concluiu também que o polimento da superfície da ferramenta diminui bastante a velocidade do desgaste, especialmente da ponta da ferramenta;
- Hayashi (1983), investigou a relação entre a velocidade de corte e o desgaste da cunha de corte durante o processo de usinagem periférica de madeira seca. Usando o aço liga SKS-2 (1,1% C, 0,8% Mn, 1% Cr, 0,25% Ni, 1,5% W, 0,2% V, 0,25% Cu, 0,03% P, 0,035% Si), verificou que a dureza da cunha de corte diminui a medida que aumentou a velocidade. As temperaturas estimadas de corte foram de 310°C a 45,2m/s e 200°C para 22,6m/s, mostrando que existe uma correlação entre a velocidade de corte e o aumento da temperatura. Foram realizadas micrografias nos aços utilizados através do uso de um microscópio de varredura, onde foi possível observar a superfície da ferramenta e o mecanismo de desgaste;
- Bayoumi, Bailey e Stewart (1983) compararam a resistência ao desgaste de varias classes de metais duros. Os ensaios demonstraram que a adição de cromo ao cobalto aumentou a resistência ao desgaste pelo aumento da resistência ao ataque químico.
- Sales (1985) realizou ensaios de desgastes de quatro materiais ferramentas diferentes numa operação de aplainamento da madeira tropical com 5% de umidade e com 0,3% de conteúdo médio de sílica. Os materiais-ferramentas utilizados foram: aço comum (12-14% Cr, 0,6-0,8% C e com porcentagem de Ni, Mo, V, Co inferior a 1%), o aço rápido (0,8% C, 18,2% W, 1,2% V, 0,4% Mn, 0,3% Si, 0,7% Mo, 4,2% Cr), o Stellite-1 (32-33% Cr, 12-14% W, 48-54% Co, 2,5% C, e menos que 2,5% de Fe) e o metal duro (90% WC, 10% Co), realizando a usinagem a uma velocidade de corte de 25 a 26m/s, velocidade de avanço de 30 m/min. e espessura de cavaco de 0,2mm;

- Krilov & Greff (1986) apresentaram um estudo do mecanismo de corrosão de uma serra por compostos polifenólicos. Os ácidos gálico, digálico e egálico são exemplos típicos de polifenóis contidos na madeira e são encontrados em quantidades apreciáveis de muitos Eucaliptos. Esse estudo mostra que o efeito conjugado de corrosão química e abrasão do aço de uma serra é maior do que era considerado até então;
- Stewart *et. al.* (1992) realizaram ensaios de desgastes em sete classes de aços rápidos, temperados em dois níveis de durezas diferentes para usinagem de chapa de fibra de alta densidade. Os resultados mostraram que os aços rápidos tipo M2, M42 e T15 obtiveram melhores condições de usinagem, sendo que o tipo M2 é a escolha mais econômica se for submetido ao tratamento térmico apropriado, além de resistir ao desgaste de forma igual ou um pouco superior na usinagem de madeira, do que os outros aços rápidos testados. Ele também tem resiliência relativamente elevado, para resistir aos impactos sucessivos durante o corte;
- Gottlob e Ruffino (1995) compararam o desempenho dos materiais de ferramenta ABNT-01, AISI D6, AISI M4 e do metal duro. Para os testes foram usinadas madeiras de *Pinus elliottii* e de *Eucalyptus grandis*. Os desgastes das ferramentas foram medidos com um projetor de perfis com ampliação de 50x, sendo levantadas as suas correspondentes curvas de desgaste em função do percurso de corte. Os resultados mostram que a usinagem de Eucalipto verde teve um maior desgaste das ferramentas. O aço ABNT-01 sempre apresentou um maior desgaste, mesmo temperado com a mesma dureza dos demais aços-ferramenta (58 a 59 Rc). Estima-se que este material de baixa liga tenha sido mais afetado pela corrosão do que pela abrasão. Todos os materiais obtiveram melhor desempenho no corte de Pinus seco. A ferramenta que mais se destacou foi o aço AISI D6, pois obteve desempenho equivalente ao AISI M4, mas possui a vantagem de ser mais barato. O metal duro (94% WC e 6% Co) é um material que apresentou melhor desempenho quanto ao desgaste, porém, por ser extremamente duro, ele fragmenta com facilidade ao sofrer impacto com grãos de areia ou algum objeto metálico, além de possuir um custo mais alto. Neste estudo também pode-se concluir que é perfeitamente possível avaliar os desgastes das ferramentas considerando-se apenas os desgastes inerentes

a cunha de corte ou o desgaste da aresta principal de ferramenta.

Trugilho (2002) avalia o desgaste químico provocado pela madeira sobre as lâminas de aço comumente usadas na fabricação de serras e/ou ferramentas de corte. Para o estudo foram utilizados dois tipos de aço (1070 e 6170) e 27 espécies diferentes de madeira (totalizando 25 espécies de Eucalipto, e as espécies *Corimbia Cloeziana* e *Pinus* sp). Pelos resultados observou-se que o *Eucalyptus tradryphloia* e o *Eucalyptus phaeotricha* foram as espécies que provocaram, respectivamente, o maior e menor desgaste químico para os dois tipos de aço avaliados. Existe grande variação no desgaste químico devido ao efeito da espécie. O aço 1070 foi mais susceptível à corrosão que o aço 6170. A corrosão foi mais evidente à medida que aumentou o tempo de reação para todas as espécies pesquisadas, tendo sido mais intensa no início do ensaio. As substâncias fenólicas (taninos), principal fração da madeira solúvel em etanol, é o principal responsável pela corrosão química em metais, diferentemente das gomas, resinas, óleos, gorduras, ceras, graxas, carboidratos de baixo peso molecular, etc., os quais são solúveis em tolueno e não provocam desgaste químico em metais. A fração de madeira solúvel em água, quente e fria, não apresentou correlação com a corrosão química.

A natureza química da madeira pode desempenhar um papel importante na determinação da redução das taxas de desgaste da ferramenta. (LEHMANN, 2010). Para descrever adequadamente os mecanismos de desgaste na qualidade de todas as interações da ferramenta de trabalho devem ser considerados. Este não é um problema simples, devido não só ao grande número de interações possíveis, mas também às dificuldades de caracterizar cada uma delas. O trabalho de um dente de serra é severo. Os tipos de impacto da madeira a velocidade de cerca de 50m/s e a temperatura na superfície de uma ponta foram medidos a 700 °C. O mecanismo de desgaste para cada material de ponta é diferente.

Segundo Lehmann (2010) existem dois mecanismos de desgaste:

Desgaste abrasivo : resultantes do cavaco (pó de serra) que flui através do ângulo de saída e sai pela parte posterior do dente. Algumas colas utilizadas em

compósitos de produtos de madeira são muito abrasivos, e algumas espécies, como teca, contêm sílica;

Corrosivos ou químicos : desgaste resultante da reação de água e outras substâncias químicas na madeira, com material de inflexão. Algumas espécies, como o cedro vermelho ocidental, tem um ácido que é muito corrosivo. Quanto maior o teor de umidade, maior será o componente de desgaste químico.

2.8 Aplicação do Stellite em serras de fita

VOLLMER afirma em seus catálogos e literatura citada na presente dissertação que por aplicar Stellite entende-se a colocação de Stellite nas pontas dos dentes de lâminas de serras de fita para o processamento da madeira.

Os processos de aplicação manual de Stellite, na prática hoje não desenvolvem mais nenhum papel, a não ser a recuperação artesanal de dentes perdidos devido a ocorrência de avarias. A Figura 2.20 ilustra a aplicação manual de Stellite na serra de fita.

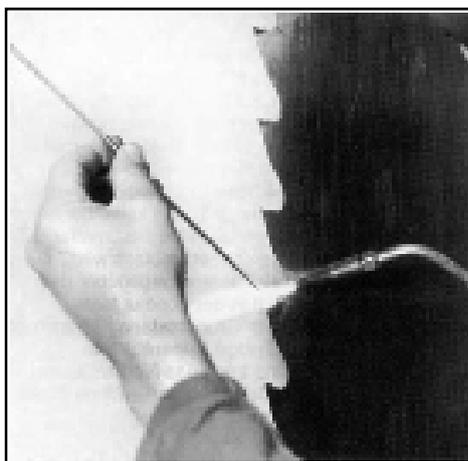


Figura 2.20- Aplicação manual de Stellite (VOLLMER, [2000?])

A vantagem do presente método é permitir que serras que sofreram danos devido a choques, ou outros motivos de perda do dente, possam ser recuperadas, sem ter a necessidade em se refazer toda a serra. Como o material é de custo relativamente alto, um processo manual pode gerar variações nos volumes do material depositado,

fazendo assim com que ocorram imperfeições, podendo gerar necessidade de retrabalho ou ainda desperdício de material.

A Figura 2.21 mostra as etapas de aplicação do Stellite manualmente.



Figura 2.21 - Etapas de aplicação do Stellite manualmente (Adaptado de VOLLMER, [2000?])

Para aplicação de Stellite tem-se hoje dois processos mecanizados :

fusão por plasma;

fusão por resistência elétrica.

O processo de fusão por plasma baseia-se no fato de uma descarga elétrica através de um gás condutor gerar calor. Com isto é alcançada uma alta concentração de energia e alta temperatura que leva a fusão tanto da ponta do dente quanto do Stellite.

O rápido processo de fusão evita a mistura do Stellite com o aço. O gás de proteção evita que o carvão seja queimado pelo Stellite. Pelo curto tempo de atuação este não irá conduzir calor a base do dente, o que levaria à perda de resistência.

Para fundir é utilizado argônio puro que funciona tanto como gás principal e como gás de proteção. Para lâminas de serra mais espessas são alcançados melhores resultados quando o gás de proteção, ao invés de usar argônio puro, se utilizar uma mistura de argônio/água o que ocasiona um melhor enchimento das formas (perfil do dente) e permite tempos de fusão maiores. Além disso, protege a zona que está sendo trabalhada contra correntes de ar, evitando oxidação e formação de bolhas.

No processo de fusão o Stellite líquido é derramado nos moldes de forma que estão encostadas na lâmina de serra.

A Figura 2.22 mostra um dente aplicado com Stellite utilizando o processo de fusão por plasma para a deposição do material.



Figura 2.22 - Recobrimento com Stellite usando processo de fusão por plasma
(Adaptado de VOLLMER, [2000?])

O resultado do processo de aplicação de Stellite em bruto, por meio de fusão em plasma, gera uma sobra mínima e igual, o que é uma condição ótima para tempos de afiação curtos. Neste processo o consumo de Stellite pode ser controlado a um mínimo. O processo de fusão por plasma oferece também vantagens adicionais na reposição de pontas de dentes, pois o Stellite restante é reaproveitado. As formas/modelos são enchidas somente com a quantidade de stellite necessária que falta.

O processo de fusão por resistência é aplicar um pedaço de Stellite sobre a ponta do dente, pelo processo de resistência elétrica, onde a superfície de contato do material da serra e o Stellite são soldados e unidos por pressão. Importante para a correta profundidade de fusão é uma pressão de aperto igual. A Figura 2.23 ilustra a aplicação do Stellite para o processo de fusão por resistência.

Em ambos os processos de aplicação de Stellite as pontas dos dentes devem ser revenidas após a aplicação. Revenir significa que após completado o processo de aplicação de Stellite, novamente no equipamento é oferecido ao dente uma fonte de calor e feito o novo tratamento térmico com controle de resfriamento.



Figura 2.23 - Barra de Stellite sendo soldada por resistência elétrica.

(Adaptado de VOLLMER, [2000?])

Em serras de fita com pontas de dente com aplicação de Stellite, a durabilidade de corte das pontas do dente pode ser alcançado um tempo de utilização de oito horas ou mais. Deve ser observado um manuseio de lâmina perfeito, para evitar o aparecimento de fadiga e as trincas daí resultantes.

Por princípio, lâminas com aplicação de Stellite podem ser afiadas com máquinas para afiação de perfil do dente e dos flancos.

A qualidade de afiação e controle de espessura do flanco, gera uma lâmina melhor e a maior precisão na manutenção das medidas resultam numa qualidade de corte melhor, num aumento de vida útil sensível e num aumento de rendimento, com um sensível decréscimo do consumo de energia da máquina de afiação.

Como o Stellite é um material mais frágil do que o aço comum as mudanças culturais em um processo fabril, necessitam ser revistas. Neste processo se faz necessário alguns cuidados na proteção destes gumes, como observado na Figura 2.24.



Figura 2.24 - Proteção para os dentes com Stellite.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Escolha das espécies de madeira

Para verificação prática dos parâmetros apontados na presente dissertação, foram realizados alguns ensaios de caracterização das espécies de madeira quais sejam sete espécies tropicais provindas da empresa ORSA FLORESTAL S.A. (OF) originárias de sua reserva florestal no vale do rio Jarí, estado do Pará. A Tabela 3.1 apresenta os nomes científicos e comuns das espécies escolhidas.

O critério de escolha destas teve como base o seu processamento mecânico (dificuldades em usinar) e levado em consideração suas características física (densidade) e química (presença de sílica).

Fatores como disponibilidade de volume para manejo e valor de mercado também foram quesitos para essa primeira escolha.

Todas as espécies cortadas para o estudo provém de manejo sustentável onde as mesmas possuem rastreabilidade total (número de identificação), de acordo com os registros do sistema de gerenciamento da cadeia de custódia, pré-requisito do sistema de gestão “Forest Stewardship Council” (FSC), adotado pela empresa. As espécies cortadas possuem também autorização do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) para o corte em manejo sustentável.

Tabela 3.1 - Nome popular e nome científico das espécies escolhidas para o estudo

Nº	Nome popular	Nome científico
1	Angelim pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>
2	Angelim vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>
3	Itaúba	<i>Mezilaurus lindaviana</i>
4	Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i>
5	Mandioqueira escamosa	<i>Qualea paraensis</i>
6	Mandioqueira lisa	<i>Qualea albiflora</i>
7	Quaruba fissurada	<i>Vochysia obscura.</i>

A Tabela 3.2 apresenta as dimensões das árvores colhidas na floresta.

Tabela 3.2 - Dimensões das árvores colhidas na floresta

Tora	*Nº	Nome comercial	*CAP (cm)	*DAP (cm)	*H (m)
1	24816	Angelim pedra	350	111,41	15
2	20464	Angelim pedra	270	85,94	17
1	28161	Angelim vermelho	280	89,13	17
2	20948	Angelim vermelho	250	79,58	17
1	28197	Itaúba	250	79,58	17
2	19301	Itaúba	230	73,21	22
1	54213	Maçaranduba	190	60,48	17
2	41686	Maçaranduba	300	95,49	20
1	29200	Mandioqueira escamosa	230	73,21	22
2	13278	Mandioqueira escamosa	270	85,94	12
1	50760	Mandioqueira lisa	300	95,49	22
2	21916	Mandioqueira lisa	210	66,85	17
1	16395	Quaruba	400	127,32	22

*Nº - número da árvore, CAP – circunferência na altura do peito, DAP – Diâmetro na altura do peito
H= altura do fuste

3.2 Método de cubagem das toras

Para o cálculo do volume das toras das presentes espécies (Tabela 3.2) utilizou-se o método de Smalian, conforme a Equação 3.1.

$$V_i = ((g_i + g_{i+1}) / 2) \times L \quad (3.1)$$

Onde:

V_i = volume da seção considerada, [m³];

g_i = área da seção mais fina, [m²];

g_{i+1} = área da seção mais grossa, [m²];

L = comprimento da seção, [m].

3.3 Determinação da densidade básica

A densidade básica das espécies foram calculadas pelo método da balança hidrostática, segundo norma NBR 7190 (1997). Os corpos de prova foram acondicionados em uma caixa com água até a sua saturação completa. Após a saturação, pesaram-se as amostras imersas (m_i) em uma balança hidrostática. A Figura 3.1 mostra a balança hidrostática utilizada, com precisão de leitura de 0,01g.



Fig 3.1 – Balança hidrostática e amostras saturadas.

Removeu-se a água superficial dos corpos de prova, e pesaram-se as amostras saturadas (m_v) na mesma balança. Em seguida, secaram-se os corpos de prova com temperatura máxima de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até que a variação, entre duas medidas consecutivas, fosse menor ou igual a 0,5% da última massa medida, obtendo-se a massa seca (m_s). Para a secagem foi usada estufa de secagem do Laboratório de Química Instrumental do Campus Experimental de Itapeva - UNESP.

A Figura 3.2 mostra o controlador da estufa de secagem modelo Marconi.



Fig 3.2 – Estufa de secagem e esterilização marca Marconi;

A densidade básica foi determinada através da Equação (3.2).

$$d_b = m_s / ((m_v - m_i) / d_a) \quad (3.2)$$

Onde:

d_b = densidade básica. [g/cm³];

m_s = massa de amostra seca. [g] ;

m_v = massa de amostra saturada em água. [g] ;

m_i = massa de amostra saturada imersa em água.[g] ;

d_a = densidade da água a 25°C. [g / cm³].

3.4 Determinação do teor de sílica

Para determinação do teor de sílica utilizou-se a metodologia proposta por Rodrigues & Santana (2005), onde é quantificado o teor de sílica em materiais lignocelulósicos via espectrometria no Ultravioleta-visível.

As amostras foram trituradas em repicador de facas do Laboratório de Propriedades da Madeira do Campus Experimental de Itapeva - UNESP.

A Figura 3.3 mostra o repicador de laboratório utilizado.



Figura 3.3 – Repicador de facas.

Após beneficiado, o material foi peneirado em peneira classificadora vibratória. As amostras foram enviadas para a o Laboratório da Relação Solo Planta do Departamento de Produção Vegetal da FCA- UNESP de Botucatu que quantificou o teor de sílica de acordo com a metodologia referenciada. A Figura 3.4 mostra o modelo de espectrofotômetro 600S utilizado.



Figura 3.4 – Espectrofotômetro modelo 600S.

3.5 Determinação do pH e condutividade elétrica

Os procedimentos utilizados para determinação do pH e condutividade elétrica foram de acordo com a norma Tappi 252 om-98. Os ensaios e as amostras foram preparadas no Laboratório de Química do Campus Experimental de Itapeva-Unesp.

Para o ensaio de pH foi utilizado um equipamento pH metro do Laboratório de Celulose e Branqueamento do Campus Experimental de Itapeva - UNESP, conforme mostrado na Figura 3.5.

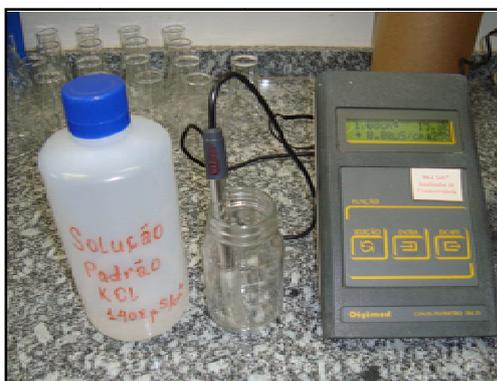


Fig 3.5 : Aparelho pH metro com eletrodo de leitura direta.

Para o ensaio de condutividade elétrica foi utilizado o equipamento condutivímetro do Laboratório de Química Instrumental do Campus Experimental de Itapeva - UNESP, conforme mostrado na Figura 3.6.



Fig 3.6 – Condutivímetro de laboratório utilizado

3.6 Procedimento realizado para escolha da espécie para o experimento de usinagem

Para todas as espécies escolhidas (Tabela 3.1) foram realizados ensaios de determinação de densidade básica, do teor de sílica e pH. Através desses ensaios, realizou-se a escolha de uma espécie por meio da metodologia proposta por Sales (1990), que atribuiu diferentes classes de abrasividade (escala de 1-10) em função do teor de sílica e densidade.

3.7 Preparação da ferramenta para os ensaios de usinagem

Preparou-se a ferramenta de corte utilizando os equipamentos para soldagem de Stellite por fusão, retificando os ângulos de folga laterais dos dentes e afiando o perfil dos mesmos. Foi aplicado por meio de deposição o Stellite densificado tipo 1, descrito na tabela 2.8, no gume do dente da serra fita. Esta deposição foi feita por soldagem a fusão aplicando um perfil arredondado de 6,4 mm de diâmetro. A Figura 3.7 mostra uma das etapas da preparação da ferramenta, onde um secção de Stellite em barra foi depositado por fusão sobre o aço base da ferramenta.

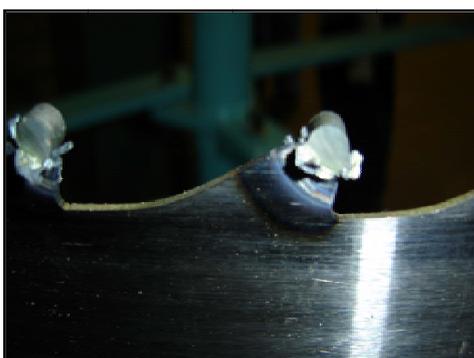


Figura 3.7 – Barra de Stellite tipo 1 depositado sobre o material base da serra de fita.

Seguiu-se a técnica recomendada pelo fabricante do equipamento de aplicação de Stellite, com posterior revenimento da solda, igualização do dente tanto com relação ao perfil, como com relação a largura e as especificações dos ângulos laterais, aos quais manteve-se em 3 graus. A serra foi preparada com um ângulo de saída de 13 graus. O ângulo de folga utilizado foi aquele aplicado que permitiu um maior arraste

no fundo do dente, gerando de certa maneira um ângulo de cunha muito delgado. A ferramenta foi preparada conforme cultura regional, dente de fundo reto (tipo 3, Figura 2.13) , com passo de 45 mm e altura do dente de 14 mm. As características utilizadas com relação a geometria do dente empregado encontram-se na Tabela 3.3

Tabela 3.3 - Características geométricas da ferramenta e dente utilizado.

Parâmetros utilizados	
Ângulo de folga (α)	28°
Ângulo de cunha (β)	49°
Ângulo de saída (γ)	13°
Altura do dente (h)	14 mm
Passo do dente (p)	45 mm
Espessura da lâmina da serra	1,47 mm
Ângulos de folga lateral	3°
Folga lateral	0,7 mm
Espessura de corte	2,87 mm
Área do dente	420 mm ²

A ferramenta de corte normal, sem stellitar, para o processamento e a comparação com a ferramenta tratada com Stellite foi feito da maneira normal que se conhece : recalçada, igualizada manualmente e posteriormente afiada no mesmo equipamento que foi afiado o perfil do dente para a ferramenta Stellitada. O perfil do dente, os ângulos e outras características da serra seguem exatamente o mesmo que os citados na Tabela 3.3 para a serra Stellitada.

Em ambos os casos a lâmina de serra fita que recebeu o Stellite e o recalque no caso da serra recalçada foi uma lâmina de serra conhecida no norte do país, com composição aproximada de 0,7 % de Carbono e elementos de liga. Foi mantida a mesma serra para ambos os testes.

3.8 Equipamentos de usinagem e parâmetros de corte utilizados

A máquina utilizada para a experimentação foi uma serra de fita Schiffer de diâmetro de volante igual a 1,35 m. Este equipamento utiliza uma motorização de 100 CV, com rotação de 1185 rpm no motor.

A distância entre os eixos dos volantes é de 2,50 m. As polias de transmissão possuem diâmetros de 210 mm e 670 mm (motora e movida respectivamente), gerando uma velocidade de corte de 26,2 m/s.

O processo de corte utilizado foi um processo normal de “3 tombos”, corte casca a casca por meio de carro porta toras. O equipamento utilizou fluxo constante d’água durante o processo de corte aplicado sobre a serra fita e a tora.

A Figura 3.8 mostra o carro porta toras, uma tora de maçaranduba sendo processada, o volante superior do equipamento e a ferramenta de corte.



Figura 3.8 – Serra de fita usinando tora de Maçaranduba com carro porta toras.

A alimentação de toras na mesa receptora foi feita com equipamento florestal do tipo pá carregadeira adaptada com garras mecânicas, as quais permitem durante certa frequência, alimentar o processo de produção sem ocasionar paradas por falta de matéria prima.

A Figura 3.9 ilustra o processo de colocação de matéria prima (toras) no transportador para posterior processo de usinagem.



Figura 3.9 – Alimentação de toras em mesa transportadora para o processo de desdobro.

Para o presente teste a altura média de corte das toras foi de 550 mm, sendo que a tora de maior diâmetro serrada neste ensaio foi de 850 mm. A velocidade de alimentação média calculada foi de 19,85 m/min. Para o cálculo da alimentação por dente (t) foi utilizada a Equação 3.3.

$$t = (p \times V_f) / (V_c \times 1000 \times 60) \quad (3.3)$$

Onde:

p = passo do dente. [m];

V_f = velocidade de alimentação. [m/min];

V_c = velocidade de corte. [m/s].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio físico e químico das espécies selecionadas

Os resultados obtidos do teor de Silício (Si) encontrados nas amostras correspondem ao teor de massa seca. A este foi realizado a correção de massa para o constituinte desejado SiO₂ (Sílica). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Teor de sílica das espécies selecionadas

*N ^o	Nome Comercial	**Si (%)	**Si (g x kg ⁻¹)	***SiO ₂ (%)
A	Angelim pedra	0,11	1,1	0,23
B	Angelim pedra	0,07	0,7	0,14
A	Angelim vermelho	0,10	1,0	0,21
B	Angelim vermelho	0,08	0,8	0,17
A	Itaúba	0,26	2,6	0,57
B	Itaúba	0,24	2,4	0,51
A	Maçaranduba	0,08	0,8	0,17
B	Maçaranduba	0,13	1,3	0,28
A	Mandioqueira escamosa	0,20	2,0	0,43
B	Mandioqueira escamosa	0,22	2,2	0,47
A	Mandioqueira lisa	0,23	2,3	0,50
B	Mandioqueira lisa	0,14	1,4	0,30
A	Quaruba fissurada	0,10	1,0	0,21

*N^o - Amostra ** Si - Silício *** SiO₂ - Sílica

Os resultados de densidade básica média encontradas para as espécies estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4.2 - Densidade básica média das espécies estudadas

Nº	Nome comercial	Densidade Básica (g/cm ³)
1	Angelim pedra	0,63
2	Angelim vermelho	0,93
3	Itaúba	0,78
4	Maçaranduba	0,83
5	Mandioqueira escamosa	0,66
6	Mandioqueira lisa	0,59
7	Quaruba	0,54

Outro dado importante e citado na revisão bibliográfica como agente causador de desgaste foi a acidez da madeira. Os resultados mostram que existe uma variação no pH de cada espécie. Os resultados do ensaios de pH estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Ensaio de medição de pH e condutividade elétrica

Nº	Nome comercial	pH *25°		**Condutividade μ S/cm	
		***2h	24h	2h	24h
1	Angelim pedra	4,63	4,74	66,97	66,70
2	Angelim vermelho	4,77	4,94	46,10	45,95
3	Itaúba	4,06	4,21	121,80	120,90
4	Maçaranduba	4,99	5,03	60,90	60,77
5	Mandioqueira escamosa	3,64	4,27	154,42	153,72
6	Mandioqueira lisa	4,14	4,23	48,52	48,40
7	Quaruba	3,35	3,40	160,05	158,95

*temperatura de calibração do equipamento, ** micro *Siemens* por centímetro

*** tempo de ensaio para registro do valor.

Não foram encontradas evidências de que a corrosão e perda do gume cortante devido a acidez da madeira, ou mesmo da presença de extrativos ácidos na mesma seja efetivamente causador de desgaste e corrosão significativos, quando comparados ao

efeito da presença de sílica e da densidade e umidade da madeira. A Tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos por espécie para os ensaios de sílica, densidade básica e pH.

Tabela 4.4 – Resultados obtidos por espécie.

Nº	Nome Comercial	Nome Científico	SiO ₂ (%)	**D (g/cm ³)	pH
1	Angelim pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	0,19	0,63	4,74
2	Angelim vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>	0,19	0,93	4,94
3	Itaúba	<i>Mezilaurus lindaviana</i>	0,54	0,78	4,21
4	Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i>	0,23	0,83	5,03
5	Mandioqueira Escamosa	<i>Qualea paraensis</i>	0,45	0,66	4,27
6	Mandioqueira lisa	<i>Qualea albiflora</i>	0,40	0,59	4,23
7	Quaruba	<i>Vochysia obscura.</i>	0,21	0,54	3,40

*SiO₂; **D – densidade básica; pH a 25°C e 24 Horas.

Observou-se que as espécies estudadas demonstraram uma porcentagem de sílica superior a 0,05% , havendo a recomendação do uso de ferramentas mais resistentes para a usinagem das espécies. Se observarmos a tabela 2.12 vemos que nas classes de abrasividade propostas por Sales (1990) os resultados das espécies estudadas podem ter gerado índices próximos ao maior índice usado na referida tabela que foi 10. Assim, o uso do Stellite pode ser a solução para efeitos de perda do gume de afiação quando se processa a madeira de Itaúba e a Maçaranduba.

A partir desses resultados, concentrou-se nas espécies que apresentaram características de maior abrasividade. Escolheu-se entre essas espécies uma única para verificação do desempenho da usinagem da ferramenta com stellite.

A espécie utilizada foi a Maçaranduba (*Manilkara huberi*).

Além do fator de abrasividade apresentado pela espécie, levou-se em consideração o volume anual de toras presentes na floresta e oferecido pelo sistema de manejo, o conhecimento do mercado já existente dessa espécie e suas características de durabilidade bem como a previsão do setor de produção da OF a qual estava entrando em processo de fabricação na referida data dos ensaios. Os testes foram feitos sempre em mesmo horário, operador e padrão de corte.

4.2 Resultados dos ensaios de usinagem

4.2.1 Verificação dos parâmetros da ferramenta e do processo

Durante os ensaios foi medido a taxa de alimentação por dente (t) dada pela equação 3.3.

O valor obtido de “ t ” corresponde a 0,568 mm de avanço por dente, em média, levando em consideração um passo de dente de 45mm, uma velocidade de alimentação de 19,85 m/min e um velocidade de corte de 26,2 m/s.

Através do avanço por dente obtido pode-se calcular a área de material removido, pelos dentes da serra, através da altura de corte média que corresponde ao valor de 550 mm.

Multiplicando esses dois parâmetros obteve a área de material removido por dente de serra que corresponde a 312 mm².

A partir desse valor obtido (312 mm²) de material removido por dente, comparou-se com o valor da área calculada por dente (Figura 2.15) que corresponde a 420 mm².

O índice de ocupação do dente pode chegar no máximo a 70% do volume da garganta.

Fazendo um comparativo entre áreas pode-se chegar que a área máxima teórica de ocupação do dente corresponde a 294 mm² ($420 \times 0,7 = 294 \text{ mm}^2$). Isso significa que todo corte com altura acima de 520 mm efetivamente já preencheu a garganta do dente em mais de 70% do volume, sem contar os efeitos da água utilizada como líquido de corte.

Na Tabela 4.7 observa-se que todas as toras possuem circunferência acima de 170 cm, ou seja, o diâmetro mínimo utilizado de toras foi 55 cm. Para o referido corte, todo e qualquer corte nas condições de velocidade acima poderá gerar no dente a perda da estabilidade lateral.

Esse tipo de verificação é importante, pois há excesso de material em alguns momentos do corte e da remoção de material, o que provavelmente leva a desvios no plano de corte da serra, assim aumentando a temperatura do sistema, e como

conseqüência gerando maiores desgastes e pior qualidade no plano de corte da madeira.

Para verificar se o preenchimento em excesso da garganta estava prejudicando o corte foram colhidas medidas das espessuras das tábuas a cada meia hora durante o serramento das toras de Maçaranduba. Utilizou-se um paquímetro com nônio para medida com acuracidade de 0,02 mm para as medições, sendo que essa verificação foi feita para ferramenta com material Stellite. Além do preenchimento da garganta, por meio deste método poderia observar-se a perda de corte da ferramenta, que também induz variações no plano de corte da madeira.

As medidas foram tomadas nas pontas das tábuas no lado superior e inferior, no meio da tábua e entre medidas, gerando assim um total de 10 medidas por tábuas as quais estão descritas na Tabela 4.5. A retirada das tábuas durante o serramento foi aleatória. A captação dos registros está demonstrado na Figura 2.19.

Foi usado um modelo aproximado ao proposto por Okai (2005) buscando manter 5 medidas na média (tomando-se nas pontas, no meio da tábua, e uma medida intermediária entre estas).

A distância não foi padronizada devido a oferta de comprimento de toras variar também no abastecimento desta na mesa de alimentação. Os registros abaixo mostram na coluna horário, o horário de cada tomada de espessura. Na coluna local, refere-se ao local na altura da tábua serrada e onde foi tomado a medida (Superior ou inferior).

M_n é o ponto longitudinal da tomada da medida ao longo da mesma altura, seja A ou B. A-B é o cálculo da amplitude da variação da espessura na mesma altura da tábua.

Observou-se que as variações existentes na Tabela 4.5, ocorreu possivelmente pelo fato de uma geometria de dente inadequada. Também a falta de controle do processo, pelo operador, que alimentava em alguns casos com uma maior velocidade de alimentação a tora, sobrecarregou a garganta dos dentes e imprimiu condições aos dentes de serras, desestabilizando-os ou flexionando-os, o que gera desvios no corte.

A Tabela 4.5 demonstra o resultado das medidas das variações das espessuras das tábuas usinadas em função do tempo do ensaio.

Tabela 4.5 - Controle das espessuras das tábuas serradas com Stellite

Horário	Local	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	Média	*DP	*V	
8h00	A	27,8	27,8	27,4	26,7	26,2	27,18	0,71	0,77	0,59
	B	28,8	27,8	27,6	26,6	26,8	27,52	0,88		
	A-B	1	0	0,2	0,1	0,6	0,38	0,41		
8h45	A	26	27,2	28	28	25,4	26,92	1,18	1,07	1,15
	B	26,2	27,5	28,7	28,2	27	27,52	0,98		
	A-B	0,2	0,3	0,7	0,2	1,6	0,6	0,59		
9H00	A	27,2	28,3	28,2	27,6	26,5	27,56	0,74	0,93	0,87
	B	25,8	27,5	29	27,2	26,8	27,26	1,16		
	A-B	1,4	0,8	0,8	0,4	0,3	0,74	0,43		
9h40	A	24,8	27,2	27,4	27,2	24,2	26,16	1,53	1,69	2,87
	B	25,1	28,5	28,8	28,1	25	27,1	1,89		
	A-B	0,3	1,3	1,4	0,9	0,8	0,94	0,43		
10h00	A	26,2	27,2	27,8	27,2	26,8	27,04	0,59	0,86	0,74
	B	25,8	27,8	28	26,9	25,5	26,8	1,13		
	A-B	0,4	0,6	0,2	0,3	1,3	0,56	0,44		
10h40	A	24,5	27,2	28	28,6	24,9	26,64	1,84	1,67	2,80
	B	26,2	29,2	27,3	28,2	25	27,18	1,64		
	A-B	1,7	2	0,7	0,4	0,1	0,98	0,82		
11h15	A	25,5	27,3	27,6	25,2	24	25,92	1,51	1,36	1,85
	B	26,2	26,7	28,4	27,2	25,1	26,72	1,22		
	A-B	0,7	0,6	0,8	2	1,1	1,04	0,56		

*DP - desvio padrão amostral, *V - variância

Outra hipótese levantada como causa para os desvios do plano de corte e as oscilações medidas no plano da madeira serrada foi a da idade da tora. O teor de sílica aumenta com a menor umidade e portanto maior resistência a serrar, forçando o dente da serra e o motor.

Através do controle da cadeia de custódia foi recuperado os dados da colheita e verificou-se que houve a alimentação da produção com toras colhidas em 2009 e toras colhidas em 2010, fato que pode ter sido a causa do aumento da variação dimensional

do corte em diferentes momentos, sem apresentar uma tendência no final da vida da ferramenta.

Salles (1990) afirma que madeiras mais secas possuem maior teor de sílica, portanto, são mais abrasivas, embora menos densas.

A Tabela 4.6 mostra as datas e evidencia haver toras com mais de um ano já colhidas e que foram trabalhadas no referido teste.

Tabela 4.6 – Toras usinadas com ferramenta stellite e data de colheita. Fonte O.F.
Registros internos do sistema FSC/Qualidade. – 2010.

Tora	Espécie	Comprimento (m)	data colheita
1	Maçaranduba	4,75	15-set-10
2	Maçaranduba	4,75	11-nov-09
3	Maçaranduba	4,75	12-nov-09
4	Maçaranduba	4,5	12-nov-09
5	Maçaranduba	4,5	11-nov-09
6	Maçaranduba	4,75	11-nov-09
7	Maçaranduba	6,25	26-nov-09
8	Maçaranduba	5,25	27-nov-09
9	Maçaranduba	4,5	01-dez-09
10	Maçaranduba	5,25	04-dez-09
11	Maçaranduba	4,5	22-ago-09
12	Maçaranduba	5,25	26-nov-09
13	Maçaranduba	6,25	14-set-10
14	Maçaranduba	5,25	14-set-10
15	Maçaranduba	5,25	26-nov-10
16	Maçaranduba	6,75	14-set-10
17	Maçaranduba	6,5	14-set-10
18	Maçaranduba	5,25	20-nov-09

4.2.2 Teste de produtividade e análise da qualidade

O teste de produtividade corresponde na comparação entre produtividade do corte das toras de Maçaranduba, em volume e número de toras, da serra de fita com “stellite” em relação a serra convencional de aço carbono.

O processo de corte, foi acompanhado durante 4,5 horas , do início do turno e manteve-se a ferramenta até o final do primeiro turno, ou seja, mudou-se a mesma na hora do almoço. Normalmente a operação serrando a espécie Maçaranduba é de no

mínimo uma troca de serra por meio turno, podendo em algumas vezes trocar as serras de duas a três vezes por meio turno de trabalho.

A Figura 4.1 mostra um plano de corte transversal da tora de maçaranduba a ser processada nos ensaios de produtividade.



Figura 4.1 – Tora de maçaranduba a ser desdobrada nos testes.

Ao utilizar a serra convencional feita com aço ao Carbono e dentes recalçados, notou-se uma troca de serra após 7 toras serradas.

Com a ferramenta com “stellite” depositado, este número foi de 19 toras serradas, uma no dia anterior para aprovação da ferramenta e 18 toras no decorrer do mesmo dia do teste.

A média comparada com outros dias de uso de ferramenta convencional foi de 12 a 14 toras por meio período.

Fazendo uma comparação de dois dias consecutivos (Tabela 4.7 e Tabela 4.8), observou-se que a ferramenta proposta serrou 40% a mais em volume de toras serradas, 9 m³, do que a ferramenta convencional, tomando dados diretos um dia contra o outro nas citadas tabelas.

Outro parâmetro observado foi o acabamento superficial, que foi satisfatório, sendo que visualmente observou-se um ganho de melhoria nos riscos na superfície das tábuas em comparação a ferramenta convencional.

A Tabela 4.7 mostra o acompanhamento do consumo de toras realizado no período da manhã do dia do teste com a ferramenta “stellitada”.

Tabela 4.7 – Consumo total de toras com ferramenta preparada com inserto de Stellite

Tora	Espécie	*C (cm)	**Comprimento (m)	***V (m ³)
1	Maçaranduba	228	4,75	1,807762058
2	Maçaranduba	220	4,75	1,683127185
3	Maçaranduba	220	4,75	1,683127185
4	Maçaranduba	220	4,5	1,594541544
5	Maçaranduba	230	4,5	1,742794373
6	Maçaranduba	230	4,75	1,839616283
7	Maçaranduba	230	6,25	2,420547741
8	Maçaranduba	180	5,25	1,245323768
9	Maçaranduba	200	4,5	1,317802929
10	Maçaranduba	170	5,25	1,110798052
11	Maçaranduba	204	4,5	1,371042167
12	Maçaranduba	260	5,25	2,598268108
13	Maçaranduba	188	6,25	1,617237039
14	Maçaranduba	188	5,25	1,358479113
15	Maçaranduba	219	5,25	1,843425099
16	Maçaranduba	203	6,75	2,036450283
17	Maçaranduba	203	6,5	1,961026199
18	Maçaranduba	240	5,25	2,21390892
Volume total				31,44527805
(m ³)				

*C – circunferência da tora, **comprimento da tora,
 ***V – volume calculado da tora (descontado os ocos quando presente)

A Tabela 4.8 mostra o consumo de toras serradas no decorrer do período da manhã de um dia seguinte ao dia do teste, porém, utilizando nas mesmas condições de usinagem uma ferramenta não “stellitada” ou seja, aço Carbono com dentes recalçados.

Tabela 4.8 - Consumo total de toras com ferramenta convencional de Aço Carbono recalçada

Tora	Espécie	*C (cm)	**Comprimento (m)	***V (m ³)
1	Maçaranduba	156	6,25	1,114
2	Maçaranduba	156	4,75	0,846
3	Maçaranduba	230	4,75	1,84
4	Maçaranduba	280	5,25	3,013
5	Maçaranduba	280	4,25	2,439
6	Maçaranduba	200	5,25	1,537
7	Maçaranduba	230	4,75	1,84
8	Maçaranduba	230	4,5	1,743
9	Maçaranduba	200	4,75	1,391
10	Maçaranduba	263	5,25	2,659
11	Maçaranduba	263	4,75	2,405
12	Maçaranduba	185	5,25	1,315
Volume total				22,143

*C – circunferência da tora, **comprimento da tora,

***V – volume calculado da tora (descontado os ocos quando presente)

O fato de a ferramenta com depósito de Stellite necessitar passar por um processo de retífica lateral por meio de rebolos, faz com que a variação da espessura dos dentes das serras seja na casa dos centésimos de milímetros no máximo. No processo de produção da ferramenta, a retífica das paredes laterais do dente faz com que se controle também os ângulos de folga radial e tangencial gerando uma ferramenta mais precisa e com tolerâncias geométricas mais acuradas.

O processo de igualização utilizado pelo método de recalcar utiliza ferramenta manual. Muitas vezes a fadiga do operador ao longo da serra faz com que não se consiga manter a mesma pressão no equipamento e conseqüentemente classe de precisão dimensional, gerando assim dentes com variações na espessura quando comparados um ao outro.

Esse fator é importante e decisivo pois melhor acabamento superficial nas tábuas significa melhor escoamento do ar em processos de secagem, bem como menos material a ser retirado nos processos de beneficiamento da madeira, o que irá acarretar em ganhos de qualidade da tábua processada e de produtividade ao cliente final.

A Figura 4.2 mostra o acabamento superficial para ferramenta convencional. Pode-se notar as marcas dos dentes e a diferença de altura entre dentes consecutivos.



Figura 4.2 - Acabamento superficial da madeira serrada com ferramenta convencional

A Figura 4.3 mostra o acabamento superficial da madeira serrada com ferramenta “Stellitada”. Nota-se que as marcas dos dentes da serra são menos perceptíveis na madeira serrada com a ferramenta com stellite.



Figura 4.3 - Acabamento superficial da madeira serrada com ferramenta com ponta de stellite

5 CONCLUSÕES

No que se refere à produtividade do uso da ferramenta convencional em relação a ferramenta com Stellite, concluiu-se que houve um ganho efetivo de produção no volume de toras serradas, quando comparado o primeiro período do primeiro turno em dois dias consecutivos de produção para a mesma espécie e mesmo plano de corte em testes realizados na OF. Nestas condições o acabamento superficial do produto também melhorou.

Na serra de fita utilizada para o teste (diâmetro do volante de 1,35 m) , foi utilizada uma serra de 1,47 mm de espessura, aproximadamente 9% mais espessa do que a recomendada, retirando assim 9% mais pó de serra e consumido conseqüentemente mais energia elétrica. Um fator possível para o uso de serras mais espessas que o recomendado é o perfil do dente utilizado, pois esse dente possui ângulo de cunha muito delgado, não suficientemente robusto para suportar os esforços de corte para o serramento da madeira dura.

Outro aspecto importante é o ângulo de saída praticado com o objetivo de maximizar o ângulo de cunha. Para isso, utiliza-se ângulos muito pequenos, os quais impactam em dificuldade da penetração da serra na madeira. Aliados a espessura da serra, estes fatores determinam diretamente a potência de corte necessária e o desgaste prematuro do dente, podendo ser um fator importante da instabilidade da mesma no plano de corte.

A busca por um perfil de dente melhor e mais robusto poderá gerar resultados diretos como a diminuição da espessura da serra para os padrões internacionais e citados em toda bibliografia, melhor estabilidade do dente, menor consumo de energia e de matéria prima, melhor rendimento, mais tempo efetivo de corte da ferramenta e melhor produtividade. Estes fatores podem ser independentes do uso de pontas de material mais duro ou dentes recalçados. Para as condições citadas, o dente de corpo projetado (dente SB ou CP – Tabela 2.5) poderia ser testado

Considera-se assim o uso do Stellite como uma oportunidade de ganho em produtividade nas indústrias madeireiras, porém, demanda da divulgação de resultados de testes, ensaios e aplicações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6162**: movimento e relações geométricas na usinagem dos metais: terminologia. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6163**: Geometria da cunha de corte. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 pag.

BRITISH COLUMBIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY (BCIT). **Saw Trades Apprenticeship Program**: module 1: saw fitter 1. Province of British Columbia: Centre for Curriculum, Transfer & Technology, 2002. 200 p.

CALLISTER, Jr., W.D. **Ciência e engenharia de materiais** : uma introdução. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705p.

CERATIZIT. Kataloge: Hartmetal für die Holzbearbeitung. Disponível em: <http://www.ceratizit.com/4170_DEA_HTML.php?lc=7&entryId=1000313767_BS&expandId=1000313785> Acesso em: 14/06/2011.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**: características gerais tratamentos térmicos principais tipos. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1979. 504 p.

DALOIS, C. **Manuel de sciage et d'affutage**. 2. ed. rev. et corr. Nogent-SurMarne Cedex: Centre Technique Forestier Tropical, 1990. 208 p.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 4.º reimpressão São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 1982. 751p. Volume 1.

FORÉZIENNE. Catálogo disponível em: <http://www.forezienne.com/images/stories/forezienne/PDF_produits/informations-techniques-ruban.pdf>. Acesso em 10/11/2010.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: M.T.T. Gonçalves, 2000. 242 p.

GOTTLOB, W. J. **Determinação da vida de ferramentas de aço AISI classe D-6 do stellite-1 na usinagem de madeira de “*Eucalyptus grandis*”**. 1996. 152p. Tese (Doutorado em engenharia mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

KENNEDY, S.M.; CHAN-YEUNG M., MARION, S.; LEA, J.; TESCHKE, K. Maintenance of stellite and tungsten carbide saw tips: respiratory health and exposure-response evaluations. **Occupational and Environmental Medicine**, London: BMJ, v. 52, n. 3, p. 185-191, march 1995.

KILLMANN, W.; FINK, D. Coconut palm stem processing technical handbook. Eschborn: Protrade: Dept. Furniture and Wooden Products, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1996. 206 p. Disponível em : <<http://www.fao.org/docrep/009/ag335e/ag335e00.htm>>. Acesso em : 22/06/2011

KLAMECKI, B.E.; **A Review of Wood Cutting Tool Wear Literature**. Holz und Roh- und Werkstoff. Vol 37. Springer Verlag. 265-276.1979.

KOCH, P. **Wood Machining Processes**. New York: Ronald Press Company, 1964. 530p.

LEHMANN, B. **Saw tooth design and tipping materials**. British Columbia: Thin Kerf Technologies Inc. Disponível em: <<http://www.thinkerf.com/Downloads/SawTooth.PDF>>. Acesso em: 30/05/2011.

LOEHNERTZ, S. P.; COOZ, I. V.; GUERRERO, J. **Sawing hardwoods in five tropical countries**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. 11 p. Disponível em: <<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn262.pdf>> Acesso em: 20/12/2010.

MANIERI, C. et al. **Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras**. São Paulo: Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo, 1983. 438 p. (Publicações espécies 14). Publicação IPT 1226.

METALURGICA SCHIFFER – catálogo disponível em : <http://www.schiffer.com.br/ind_madeira_detalhes_produtos.php?id=195>. Acesso em 20/06/2011.

MELTZER, G.; IVANOV, Y.Y. Identification of blunt-process at wood-milling tools by time-frequency analysis, in: Proc. of IEEE-SP International Symposium on Time-Frequency and Time-Scale Analysis, Pittsburgh, PA, USA, October 6--9, 1998, pp. 449--452

OKAI, R.; MITCHUAL, S. J.; FRIMPONG-MENSAH, K. Optimisation techniques for minimising saw teeth deflection and lumber thickness variation. **Journal of Precision Engineering**, v.30, p.39-46, apr.2005.

OKAI, R.; TANAKA, C.; IWASAKI, Y. Influence of mechanical properties and mineral salts in wood species on tool wear of high-speed steels and stellite-tipped tools consideration of tool wear of the newly developed tip-inserted band saw. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, DE: Springer Verlag, v.64, n.1, p.45-52, apr.2006.

RANGEL, J.J.A.; MONTEIRO, S.N.; BOBROVNITCHII, G.S.; SKURY, A.L.D. Características microestruturais do diamante carbonado produzido com grafite brasileiro. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 13, pp 162-170. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10963>>. Acesso em 15/05/2011;

RODRIGUES, L. C.; SANTANA, M. A. E. Metodologia para determinação do teor de sílica em materiais lignocelulósicos via espectrometria no Ultravioleta-visível. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ: UFRRJ, Instituto de Florestas, V.12, n.1, p. 57-62, 2005. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/revista/volume15_no2.html>. Acesso em: 13/11/2010;

SÁ, V.M. **Avaliação do desgaste da ferramenta de metal duro revestida com TiN no fresamento do aço ABNT 4140 temperado e revenido, utilizando duas fresas de diâmetros diferentes**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2010.

SALES, C. **La Scie a ruban**: théorie et pratique du sciage des bois em grumes. Nogent sur Marne, França: Centre Technique Forestier Tropical, 1990. 152 p.(Cahiers Scientifiques Cirad)

SANDI, R. G.; ROQUE, R. M. El aserrio de Dialium guianense (aubl) Sandwith en Costa Rica. **Madera y Bosques**, Xalapa, Mexico: Instituto de Ecologia, v.4, n.1, p.51, 1998. Disponível em: <<http://www1.inecol.edu.mx/myb/resumeness/4.1/pdf/Garcia%20y%20Moya%201998.PDF>>. Acesso em: 20/09/2010

SANDVIK. **El Manual: Produccion, uso y mantenimiento de hojas de sierra cinta para madera**. Sandviken. Sweden: Sandvik Steel AB, [2000?]. (Un manual de Sandvik Steel)

SANTINI, A. **Estudo do processo e dos parâmetros de corte no serramento da madeira por serra de fita**. 2000. 175p. Dissertação (Mestrado em ciência e engenharia de materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SOARES, N. S. et al. Rumos dos negócios florestais em face ao ambiente de instabilidade no comércio mundial. **Análise Conjuntural**, ano 3, n.26, junho 2011. Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/ana_n_mundial_15402.pdf>. Acesso em: 21/06/2011.

TAPPI – **pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard**. TAPPI T 252 om-98. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. TAPPI PRESS, Cd-Rom, 2000.

TRUGILHO, P. F. et al. Corrosão e desgaste químico das lâminas de aço utilizadas no desdobro da madeira. **Cerne**, Lavras, MG, v.8, n.2, p.26-41, 2002.

TUSET, R; DURAN, F. **Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilizacion**. Montevideo. ed. Hemisferio Sur. 1986. 696p.

VIDAURRE, G.B. **Efeito dos parametros do dente de serra de fita na qualidade e produtividade da madeira serrada de eucalipto**. 2006. 71p. Dissertação (Mestrado em ciências Ambientais e Florestais) Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 2006.

VOLLMER. **Basic Training Sawmill Technology**. Germany : Vollmer Werke Maschinenfabrik GmbH. Biberach, ed.1. [2000?]. 85p.

APÊNDICE A

Caracterização das espécies :

Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*)



Figura 5.1 – Vista plano longitudinal tangencial da espécie Angelim pedra.

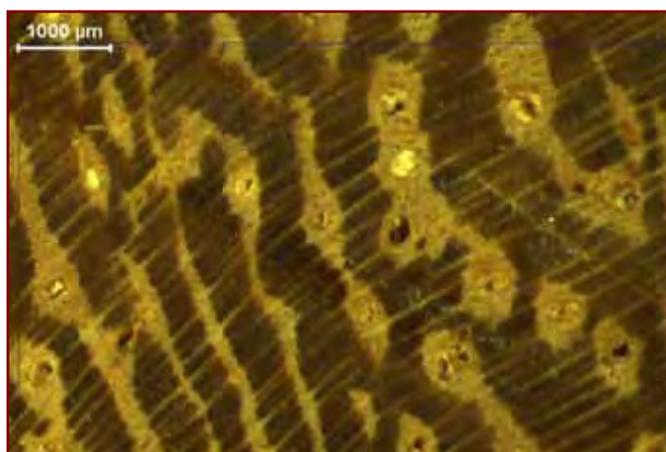


Figura 5.2 – Vista seção transversal da espécie Angelim pedra (aumento 10 vezes).

Descrição da Madeira de Angelim pedra : Parênquima contrastado, distinto a olho nu, aliforme, estendendo-se em faixas longas, largas, algumas regulares, outras irregulares, onduladas , e mesmo em trechos oblíquos e eventualmente em finas linhas marginais; poros médios, raros grandes, solitários e múltiplos, as vezes em cadeias radiais, vazios ou com substância esbranquiçada; raios notados a olho nu no topo e na face tangencial, onde sua estratificação (2 a 3 por mm) é regular; camadas de crescimento mal definidas, demarcadas por zonas fibrosas e finas linhas marginais: cerne bege- rosado-claro ou escuro, róseo –acastanhado ou castanho escuro avermelhado, de aspecto fibroso, com manchas castanhas mais escuras, devido a exudação de óleo resina; (MANIERI *et al.*, 1983).

Angelim vermelho (*Dinizia excelsa*)



Figura 5.3 – Vista plano longitudinal tangencial da espécie Angelim vermelho.

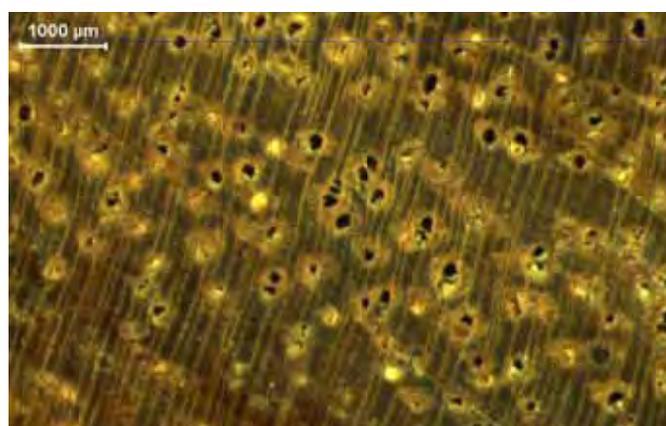


Figura 5.4 – Vista seção transversal da espécie Angelim vermelho (aumento 10 vezes).

Descrição da Madeira de Angelim vermelho : Parênquima contrastado, visível a olho nu, aliforme, confluyente, formando arranjos oblíquos, ou eventualmente em faixa tangenciais curtas e em linhas marginais finas, poros notados a olho nu, pequenos a médios, pouco numerosos, solitários e múltiplos, obstruídos por óleo resina ou substancia esbranquiçada: raios visíveis apenas sob lente no topo e na face tangencial: camadas de crescimento pouco distintas, demarcadas por finas linhas de parênquima marginal e por zonas fibrosas,; cerne castanho-claro quando recém cortado, passando a castanho-avermelhado de cheiro desagradável.(MANIERI *et al.*, 1983).

Itaúba (*Mezilaurus lindaviana*)

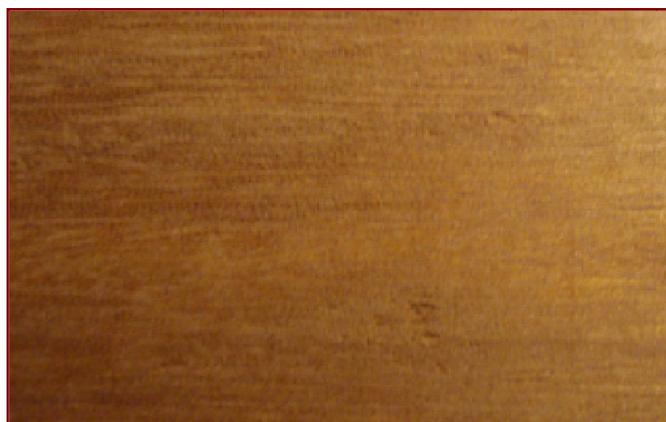


Figura 5.5 – Vista plano longitudinal tangencial da espécie Itaúba.

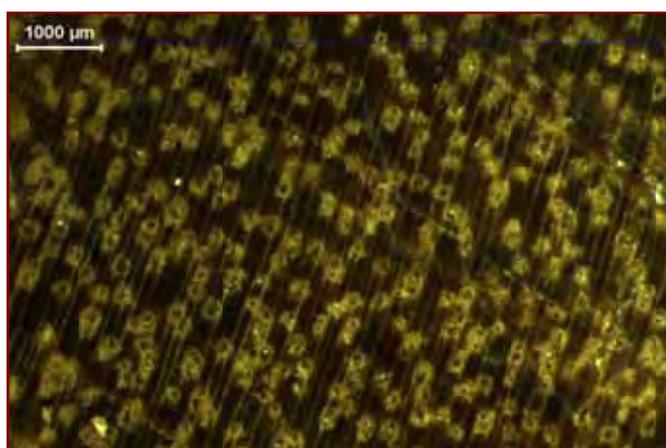


Figura 5.6 – Vista seção transversal da espécie Itaúba (aumento 10 vezes).

Descrição da Madeira de Itaúba: Parênquima indistinto; poros visíveis apenas sob lente, pouco numerosos, pequenos, solitários e múltiplos, e em cadeias radiais, obstruídos por tilas; raios só visíveis sob lente em todas as faces; camadas de crescimento indisintas, eventualmente delimitadas por zonas fibrosas; cerne amarelo-oliváceo quando recém cortado, tonando-se pardo-havana claro ou escuro com a exposição ao ar. (MANIEIRI *et al.*, 1983)

Maçaranduba (*Manilkara huberi*)



Figura 5.7 – Vista plano longitudinal tangencial da espécie Maçaranduba.

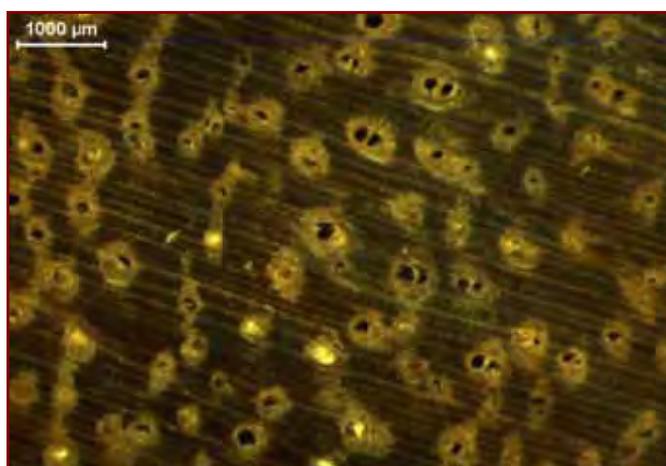


Figura 5.8 – Vista seção transversal da espécie Maçaranduba (aumento 10 vezes).

Descrição da madeira de Maçaranduba : Parênquima pouco contrastado, distinto somente sob lente, em linhas numerosa, as vezes interrompidas; poros em cadeias radiais, visíveis somente sob lente, muito pequenoa a pequenos, na maioria obstruídos por tila: raios visíveis só sob lente no topo e menos na face tangencial; camadas de crescimento pouco distintas, demarcadas por zonas fibrosas mais escuras; cerne vermelho rosado a vermelho chocolate.(MANIERI *et al.*, 1983).

Mandioqueira escamosa (*Qualea paraensis*)



Figura 5.9 – Vista plano longitudinal tangencial da espécie Mandioqueira escamosa

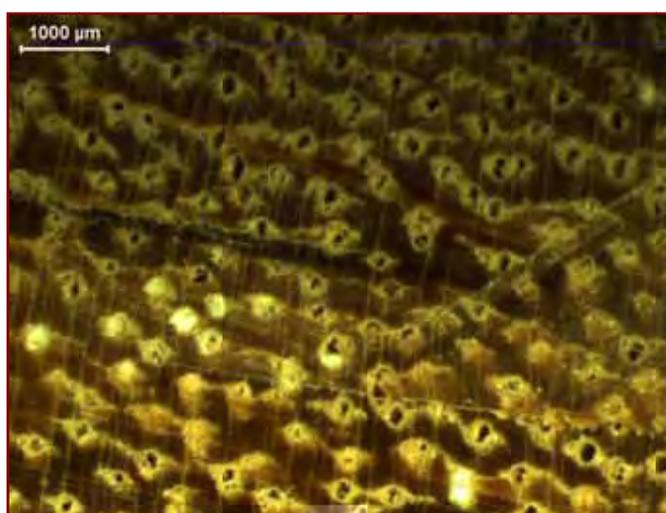


Figura 5.10 – Vista seção transversal da espécie Mandioqueira escamosa (aumento 10 vezes).

Descrição da madeira de Mandioqueira escamosa : Parênquima pouco contrastado, aliforme, com expansões curtas e longas, as vezes formando confluências: poros visíveis a olho nu, médios, poucos ou pouco numerosos, com ligeira tendência para disposição oblíqua, solitários e múltiplos, e eventualmente esparsas cadeias radiais, predominando os primeiros; raios notados a olho nu no topo e apenas sob lente na face tangencial; camadas de crescimento indistintas; cerne bege –amarelado ou rosado a castanho; de aspecto fibroso. (MANIERI *et al.*, 1983).

Mandioqueira lisa (*Qualea albiflora*)



Figura 5.11 – Vista plano longitudinal tangencial da espécie Mandioqueira lisa.

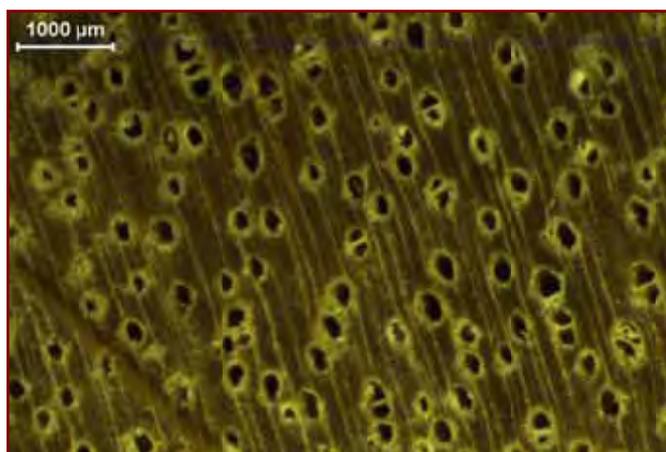


Figura 5.12 – Vista seção transversal da espécie Mandioqueira lisa. (aumento 10 vezes).

Descrição da madeira de Mandioqueira lisa : Parênquima pouco contrastado, visível só sob lente, aliforme, de aletas curtas, eventualmente confluentes, podendo formar arranjos oblíquos; poros notados a olho nu, solitários e múltiplos, poucos, numerosos, pequenos, obstruídos por substância esbranquiçada: raios visíveis sob lente no topo e na face tangencial: camadas de crescimento indistintas, eventualmente demarcadas por zonas fibrosas mais escuras; cerne bege-claro levemente rosado e bege- amarelado. (MANIERI *et al.*, 1983).

Quaruba fissurada (*Vochysia maxima*)



Figura 5.13 – Vista plano longitudinal tangencial da espécie Quaruba fissurada.

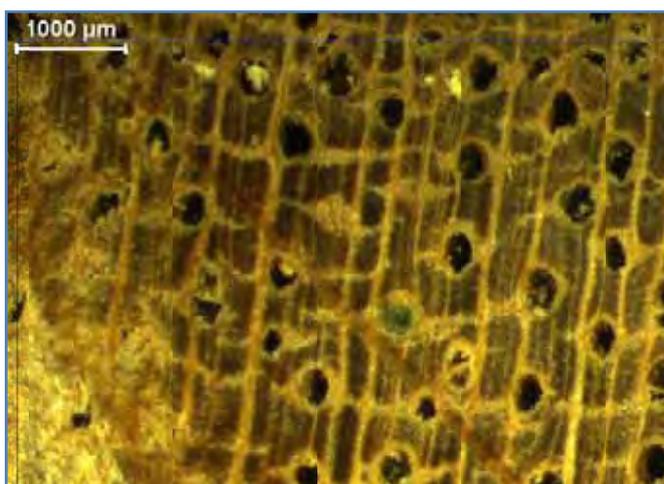


Figura 5.14 – Vista seção transversal da espécie Quaruba fissurada. (aumento 10 vezes).

Descrição da Madeira Quaruba fissurada : No manual de Identificação das Principais Madeiras Comerciais Brasileiras publicado pelo IPT (MANIERI *et al.*, 1983), não existe descrição específica da madeira de Quaruba fissurada.