

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

CAMILA MANZANO DELCORSO BANDINI

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE CORTE NO  
TORNEAMENTO DO EUCALIPTO *sp***

Itapeva - SP  
2012

CAMILA MANZANO DELCORSO BANDINI

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE CORTE NO  
TORNEAMENTO DO EUCALIPTO *sp***

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Prof. Dr Manoel Cleber de Sampaio Alves.

Co-Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza

Itapeva - SP  
2012

B214i Bandini, Camila Manzano Delcorso  
Influência da geometria de corte torneamento do Eucalipto sp  
/ Camila Manzano Delcorso Bandini. -- Itapeva, SP, 2012  
58 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira)  
Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva,  
2012

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves  
Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Banca examinadora: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves;  
Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Inclui bibliografia

1. Usinagem 2. Máquinas - ferramenta - Controle numérico  
3. Eucalipto I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial  
Madeireira.

CDD 621.902

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE CORTE NO  
TORNEAMENTO DO EUCALIPTO *sp***

CAMILA MANZANO DELCORSO BANDINI

Este trabalho de graduação foi julgado adequado como parte  
requisito para a obtenção do diploma de **graduado em engenharia  
industrial madeireira**

Aprovado em sua forma final pelo conselho de curso de graduação  
em engenharia industrial madeireira

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi  
Coordenador de Curso

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves.  
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves  
Campus Experimental de Itapeva/ UNESP

Dedico este trabalho a você Gisela Cristina M.D.Bandini e a você Jair Delcorso que apesar da distância esta, para a eternidade, presente em meu coração.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Gisela Cristina M. D. Bandini e José Roberto Bandini por terem me proporcionado toda a estrutura necessária para que eu conclua mais esta etapa da minha vida.

Agradeço também ao meu irmão Pedro Henrique M. D. Bandini por ter se feito presente em tantos momentos em que quem deveria estar presente era eu.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves por ter me orientado desde a escolha do tema até a entrega deste trabalho.

A todos que me apoiaram nesses 5 anos, minhas amigas Aline , Ariane e Ana Paula, a você Bruno que me deu apoio e ajudou muito nesta ultima semana, ao meu amigo Marcos Paulo que esteve sempre ao meu lado, e também aqueles que foram contra, pois nada como um desafio para almejar mais ainda o desejo da vitória.

Meu agradecimento especial vai para você Jair Delcorso. Meu avô, vou repetir novamente a frase que eu lhe disse no momento mais tranquilo da nossa relação: “Não se preocupa pois um dia a gente se encontra. Te amo!”

## **RESUMO**

Em contraposição ao que ocorria no passado, onde era possível selecionar quais espécies possuíam um menor grau de variação, atualmente é necessário utilizar espécies de crescimento acelerado juntamente com um processamento eficiente. Para tanto se utilizam a madeira de *Eucalipto sp* e os estudos relacionados aos processos de usinagem, e seus parâmetros como desgaste de ferramentas de corte e rugosidade. O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da geometria das ferramentas de corte de aço rápido bem como a influência do diâmetro final das peças no processo de torneamento em madeira de *Eucalipto sp* em relação à potência consumida, a rugosidade, a temperatura de usinagem, os tipos de cavaco formado e desgaste das ferramentas de corte. Observou-se que quanto menor for o diâmetro final das peças e maior for o desgaste das ferramentas, pior será a qualidade das superfícies usinadas e maior será a potência consumida para o procedimento de usinagem.

**Palavras-chave:** Torneamento. *Eucalipto sp*. Geometria de corte. Ferramenta de corte. Diâmetro.

## **ABSTRACT**

In contrast to what happened in the past where it was possible to select which species had a lower degree of variation, it is now necessary to use fast-growing species with efficient processing. For that we use the wood of Eucalyptus sp and studies related to the machining processes and their parameters such as wear of cutting tools and roughness. The present work aims to analyze the influence of geometry of cutting tools of high speed steel and the influence of the diameter of the final pieces in the process of turning wood of Eucalyptus sp in relation to power consumption, roughness, temperature machining, chip formed and wear of cutting tools. It was observed that the smaller the diameter of the end parts and greater wear of the tools, the worse quality of the machined surfaces and the greater the power consumed in the process of machining.

**Keywords:** Turning. Eucalyptus sp. Cutting geometry. Cutting tool. Diameter.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seção transversal de um troco, mostrando as camadas.....	17
Figura 2: Avaria por quebra.....	21
Figura 3: Desgaste de ferramenta de corte.....	22
Figura 4: Desgaste de cratera.....	22
Figura 5: Desgaste de flanco.....	23
Figura 6: Desgaste por entalhe.....	23
Figura 7: Ângulos de corte.....	25
Figura 8: Representação dos movimentos no processo de torneamento.....	27
Figura 9: Variação da forma dos cavacos em função das variáveis de processo.....	27
Figura 10: Barra de ferramentas do software ImageJ.....	28
Figura 11: Programa desenvolvido em LabVIEW 7.1.....	29
Figura 12: Ferramentas do perfil I em todas as suas vistas.....	31
Figura 13: Ferramentas do perfil II em todas as suas vistas.....	31
Figura 14: Região usinada com cada ferramenta de corte.....	32
Figura 15: Dimensões dos corpos de prova antes dos procedimentos de usinagem. .....	33
Figura 16: Dimensões dos corpos de prova após as 3 usinagens.....	34
Figura 17: Sensor de Potência AT 5 B10 da marca LEM.....	35
Figura 18: Programa desenvolvido em LabView 7.1.....	35
Figura 19: Torno da EMCO Compact 5 CNC.....	36
Figura 20: Aparência dos corpos de prova após a primeira usinagem.....	38
Figura 21: Aparência dos corpos de prova após a segunda usinagem.....	39
Figura 22: Aparência dos corpos de prova após a terceira usinagem.....	40
Figura 23: Rugosímetro.....	41
Figura 24: Câmera infravermelha utilizada na medição da temperatura.....	44
Figura 25: Imagem feita a partir da câmera infravermelha.....	45
Figura 26: Rugosidade média em cada região por perfil de ferramenta.....	47
Figura 27: Consumo médio de potência por perfil de ferramenta (Watt).....	48
Figura 28: Cavaco ferramenta IV perfil I primeira região.....	49
Figura 29: Cavaco ferramenta IV perfil I segunda região.....	50
Figura 30: Cavaco ferramenta IV perfil I terceira região.....	50

Figura 31: Cavaco ferramenta IV perfil II primeira região. ....	50
Figura 32: Cavaco ferramenta IV perfil II segunda região. ....	51
Figura 33: Cavaco ferramenta IV perfil II terceira região. ....	51
Figura 34: Ferramenta I Perfil I Antes e Depois dos procedimentos de usinagem. ....	52
Figura 35: Ferramenta II Perfil I Antes e Depois dos procedimentos de usinagem. ....	52
Figura 36: Ferramenta III Perfil I Antes e Depois dos procedimentos de usinagem. ....	53
Figura 37: Ferramenta I Perfil II Antes e Depois dos procedimentos de usinagem. ....	53
Figura 38: Ferramenta II Perfil II Antes e Depois dos procedimentos de usinagem. ....	54
Figura 39: Ferramenta III Perfil II Antes e Depois dos procedimentos de usinagem. ....	54
Figura 40: Desgaste efetivo por perfil de ferramenta. ....	55
Figura 41: Temperatura de usinagem por perfil de corte. ....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição das ferramentas utilizadas .....	31
Tabela 2: Geometria das ferramentas de corte. ....	32
Tabela 3: Diâmetro e Massa dos corpos de prova utilizados .....	33
Tabela 4: Programa utilizado para usinagem da primeira região. ....	37
Tabela 5: Programa utilizado para usinagem da segunda região. ....	39
Tabela 6: Programa utilizado para usinagem da terceira região. ....	40
Tabela 7: Densidade média básica e aparente para o <i>Corymbia citriodora</i> . ....	46
Tabela 8: Média e Desvio Padrão Rugosidade das peças por perfil de ferramenta para cada região usinada. ....	47
Tabela 9: Média e Desvio Padrão Potência consumida por perfil de ferramenta para cada região usinada. ....	48
Tabela 10: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta I Perfil I.....	51
Tabela 11: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta II Perfil I.....	52
Tabela 12: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta III Perfil I.....	53
Tabela 13: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta I Perfil II.....	53
Tabela 14: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta II Perfil II.....	54
Tabela 15: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta III Perfil II.....	54

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. OBJETIVOS .....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1 Madeira de Eucalipto <i>sp</i> .....	16
3.2 Características da Madeira que Influenciam no Desgaste de Ferramenta .....	17
3.3 Características da Madeira que Influenciam no Consumo de Potência. ....	18
3.4 Características da Madeira que Influenciam na Rugosidade das Peças Usinadas. ....	18
3.5 Materiais Utilizados em Ferramentas de Corte .....	19
3.6 Avarias, Desgastes e Mecanismos de Desgastes das Ferramentas de Corte.	21
3.7 Geometria da Ferramenta de Corte .....	24
3.8 O Processo de Torneamento .....	25
3.9 Torno CNC .....	26
3.10 Software ImageJ .....	28
3.11 Software LabVIEW .....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 Procedimento de Usinagem .....	36
4.2 Medição da Rugosidade das Peças Usinadas .....	41
4.3 Amostras de Cavaco .....	42
4.4 Medição do Consumo de Potência.....	42
4.5 Medição do Desgaste das Ferramentas.....	43
4.6 Medição da Temperatura de Corte por Região Usinada .....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 Densidade Básica e Aparente .....	46
5.2 Rugosidade das Peças.....	46
5.3 Consumo de Potência .....	47
5.4 Análise da Forma Cavaco .....	49
5.5 Desgaste das Ferramentas de Corte.....	51
5.6 Temperatura em cada Região Usinada.....	55
6. CONCLUSÃO.....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

## 1. INTRODUÇÃO

Espécies de Eucalipto vem sendo introduzidas no Brasil há mais de um século para variadas finalidades. Com o objetivo de um melhor aproveitamento deste material, sempre de acordo com o destino do produto final, os estudos de melhorias, não só da matéria prima em si, mas também das ferramentas utilizadas e métodos de usinagem vêm fazendo com que este material seja utilizado da melhor forma possível.

Um bom exemplo de método de usinagem é o processo de torneamento, onde esse tem seus princípios em um dos métodos mais antigos de fabricação, desde a fabricação das primeiras peças cilíndricas feitas pelo homem. Seu uso efetivo se iniciou no século passado na de usinagem de metais e desde então passou a ser um dos processos mecânicos mais desenvolvidos, pois permite usinar a maioria dos perfis cônicos e cilíndricos necessários à indústria.

Tecnologias como o CNC (comando numérico computadorizado) trouxeram uma grande evolução para as indústrias. A partir do CNC é possível produzir peças idênticas com um menor tempo para a produção de cada peça, sendo essa produção praticamente independente de habilidades manuais, aumentando assim a produtividade sem perder a qualidade.

Na indústria madeireira o torneamento é usado principalmente no setor moveleiro na fabricação de peças cilíndricas como as usadas em mesas, cadeiras e camas. Apesar do processo de torneamento ser um dos processos mais conhecidos e pesquisados no setor metal mecânico, pouco se conhece sobre o torneamento de madeiras e a influência de seus parâmetros.

Neste trabalho buscou-se entender o torneamento de peças de eucalipto (*Corymbia citriodora*) para diferentes geometrias de ferramentas de aço rápido. Buscou-se conhecer os efeitos da geometria das ferramentas sobre variáveis de saída do processo como potência consumida, desgaste de ferramenta durante a usinagem, rugosidade das peças e aspecto do cavaco para cada ferramenta utilizada.

## 2. OBJETIVOS

Analisar a influência de diferentes geometrias de corte de ferramentas de aço rápido, no processo de torneamento, em relação a potência consumida, rugosidade (qualidade superficial), aspectos dos cavacos obtidos, temperatura durante a usinagem e o desgaste das ferramentas.

Verificar a influência do diâmetro da peça sobre a potência, rugosidade (qualidade superficial) aspectos dos cavacos formados, temperatura durante a usinagem e o desgaste das ferramentas.

Verificar a usinabilidade do *Eucalypto sp* para o processo de torneamento.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A ideia de fabricar produtos a partir da transformação da matéria-prima através de um processo pré-definido vem evoluindo com o passar das décadas. Nos dias atuais é extremamente necessário o melhor aproveitamento da matéria prima utilizada, e para isso é essencial conhecer os materiais que serão utilizados bem como o processo de fabricação e suas variáveis. A seguir é apresentada a revisão bibliográfica sobre os assuntos importantes para a compreensão deste trabalho.

#### 3.1 Madeira de Eucalipto *sp*.

A madeira, diferente de materiais como o aço que tem sua origem a partir de um processo industrial, é um material de origem biológica. Tal fato explica o porquê de suas propriedades físicas apresentarem um alto grau de variabilidade. Essa variação pode ocorrer entre indivíduos de diferentes espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie e entre diferentes regiões dentro do mesmo. Fatores como clima, método de manejo, defeitos naturais, umidade, quantidade de nutrientes, entre outros, podem ser os causadores desta variação.

A madeira é um material anisotrópico, ou seja, possui propriedades físicas e mecânicas diferentes nas diferentes direções dentro do material. Observando tais diferenças entre as direções pode-se convencionar que a madeira é um material ortotrópico, ou seja, com comportamentos diferentes em relação à direção de crescimento das fibras. Devido à orientação das fibras da madeira e à sua forma de crescimento, as propriedades variam de acordo com três eixos perpendiculares entre si: longitudinal, radial e tangencial.

Em sua estrutura a madeira é formada por diferentes tipos de células, onde cada uma dessas desempenha uma função específica dentro deste material (Figura 1).

O processamento e utilização da madeira são dificultados por estas variações que podem ocorrer na sua estrutura.

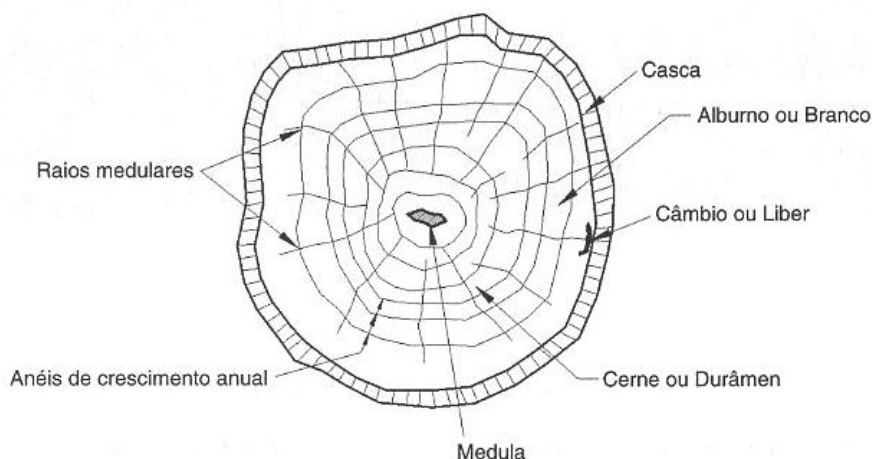


Figura 1: Seção transversal de um tronco, mostrando as camadas.

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003)

Caracterizada por ser uma espécie de porte médio a grande (+- 1,2 metros de DAP), ter pouca folhagem e forma de tronco ótima, o *Corymbia citriodora*, utilizado neste trabalho, é uma espécie muito encontrada no estado de São Paulo onde tem uma boa resistência a escassez de água e ao frio. Outra característica importante desta espécie é a de que esta se regenera bem através de brotações das cepas (INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS FLORESTAIS, 2012).

### 3.2 Características da Madeira que Influenciam no Desgaste de Ferramenta.

As propriedades físicas mais influentes nos processos de usinagem da madeira são o teor de umidade, a densidade e defeitos naturais como nós, grãos reversas, ataque por insetos, canais de resina, etc.

Segundo Gonçalves (2000), a densidade pode variar entre diferentes espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie, e em um mesmo indivíduo dependendo da altura. Quanto maior for o teor de umidade de uma peça, menores serão as forças de corte aplicadas.

Segundo Gonçalves (2000), existe limitada informação experimental a respeito da influência da temperatura. Lucas Filho (2004), afirma que este fator não pode ser estudado isoladamente devido ao efeito de outras variáveis como teor de umidade, espessura do cavaco e geometria da ferramenta.



### 3.3 Características da Madeira que Influenciam no Consumo de Potência.

A medição dos valores de força e potência de corte não é uma prática comum nas operações de corte e processamento de madeira. Tal procedimento pode ser feito através de instrumentação durante os processos. Gonçalves (2000), diz que estes valores necessitam ser medidos experimentalmente, a fim de se determinar a propriedade de resistência ao corte de cada espécie de madeira, para condições pré-estabelecidas de umidade, direcionamento das fibras e geometria da ferramenta.

Pode-se medir potência em usinagem por meio de medidas de consumo de corrente elétrica e de tensão, onde as medidas de tensão podem ser obtidas através do uso de voltímetros e as medidas de corrente por meio de amperímetros. A partir de softwares como o LabVIEW e Matlab é possível fazer uma análise detalhada do consumo de potência para cada usinagem realizada (SOUZA, 2009).

### 3.4 Características da Madeira que Influenciam na Rugosidade das Peças Usinadas.

As micro-irregularidades geométricas encontradas na superfície do material utilizado no processo de usinagem caracterizam a rugosidade superficial. Nos processos de usinagem a rugosidade pode se apresentar de diferentes formas, variando de acordo com o perfil da ferramenta, processo e ao material que esta sendo usinado. Segundo Carpinetti *et al* (1996), as dimensões dessas irregularidades podem variar entre  $10^{-10}$  e  $10^{-5}$  mm, para os metais, dependendo da precisão do processo de fabricação e qualidade de acabamento da superfície.

A rugosidade ou textura de superfícies de trabalho em mecânica de precisão afeta várias propriedades físicas do material, como níveis de atrito, desgaste, e tipo de lubrificação em peças de deslizamento, transmissão de calor, resistência mecânica entre outras (CARPINETTI *et al*, 1996).

Amplitude, espaçamento das irregularidades, ou uma combinação destes dois parâmetros são utilizados na quantificação da rugosidade de uma superfície.

A rugosidade pode ser medida através de diferentes instrumentos e métodos. Carpinetti *et al* (1996), diz que convencionalmente, a medição da rugosidade é feita utilizando-se perfilômetros de contato mecânico.

Alguns parâmetros de rugosidade são utilizados para analisar o acabamento superficial de uma superfície. Os mais utilizados são a rugosidade média ( $R_a$ ) e a rugosidade máxima ( $R_{max}$ ), onde a rugosidade média corresponde na média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento em relação à linha média, e a rugosidade máxima a altura entre os picos e vales ( $R_{max}$ ).

SILVA *et al* (1999), diz que a estrutura física e anatômica da madeira, juntamente com o processo de usinagem utilizado, tem influência direta no acabamento superficial, ou seja na qualidade final do produto.

### 3.5 Materiais Utilizados em Ferramentas de Corte

Para a seleção da ferramenta de corte que será utilizada no procedimento de usinagem além da geometria da mesma, outro fator muito importante é o material de que esta é composta. Para essa seleção são levados em conta alguns fatores como o material da peça a ser usinada, custo do material da ferramenta, natureza da operação de usinagem, grandezas de corte, emprego de lubrificação ou retificação e condições da máquina operatriz.

Segundo Costa *et al* (2006), as principais propriedades que um material de ferramenta de corte deve apresentar são alta dureza, tenacidade suficiente para evitar falha por fratura, alta resistência ao desgaste, alta resistência ao cisalhamento, boas propriedades mecânicas e térmicas a temperaturas elevadas, alta resistência ao choque térmico, alta resistência ao impacto e ser inerte quimicamente.

Segundo Gonçalves (2000), os materiais mais utilizados na composição de ferramentas de corte são:

- Aço carbono onde este é responsável direto pelo controle das propriedades do aço. Nas ferramentas utilizadas na usinagem de madeiras os teores de carbono mais utilizados se encontram entre 0,5 e 1,4%. Quanto menor é o teor de carbono, menor será sua dureza e maior a sua tenacidade.
- Aços Rápidos são ligas altamente ligadas de carbono e ferro, onde suas propriedades requeridas são a dureza a quente, resistência ao desgaste e

tenacidade, e sua composição contem quantidades de carbono que variam de 0,7% a 1,6%.

- Aço Semi-Rápido é o material em ferramentas de corte quando é requerida uma maior resistência ao desgaste que as ferramentas de aço carbono e uma menor dureza a quente que as ferramentas de aço rápido.
- Ligas fundidas proporcionam a ferramenta propriedades diferentes em diferentes regiões da mesma. Tem sua base em uma liga de cobalto-cromo-tungstênio com teores de carbono maiores que 1,5%. Velocidade de 50 a 100% maiores que as utilizadas para os aços rápidos podem ser utilizadas quando as ferramentas são compostas por ligas fundidas.
- Metal duro é formado e sua maior parte por um carboneto e um ligador. Ferramentas compostas por metal duro combinam propriedades como dureza, resistência ao desgaste e tenacidade. Pode ser encontrado em diversas classes de acordo com a sollicitação que esta sendo feita.
- Metal duro revestido: Pastilhas que apresentam componentes ainda mais resistentes ao desgaste. Melhoras em relação a taxa de remoção do cavaco e velocidades de usinagem. Os revestimentos podem ser simples ou compostos. São camadas de fina granulometria que combinam as propriedades de dureza e resistência ao desgaste.
- Materiais Cerâmicos trazem a possibilidade da utilização de velocidades de corte elevadas.
- Diamante mono-cristalino é utilizado para usinagens finas onde a qualidade superficial e a exatidão de medidas são requeridas.
- Nitreto de Boro Cúbico (CBN) tem algumas vantagens em relação a outros materiais utilizados em ferramentas de corte quando se fala em oxidação e alta resistência ao impacto.
- Stellite é uma liga metálica utilizada em dentes de laminas de serra para desdobro. Em temperaturas acima de 700 graus Celsius sua dureza a quente não e abalada.

Alguns problemas como desgaste acelerado da ferramenta, peças mal acabadas, superaquecimento, entre outros, ocorrem devido à dificuldade de usinabilidade de alguns materiais. A avaliação desta dificuldade de usinabilidade de alguns materiais é feita através da análise do acabamento superficial, da potencia

consumida durante o procedimento de usinagem e da vida da ferramenta, onde esta corresponde ao período de trabalho entre duas afiações consecutivas (FARIAS, 2000).

### 3.6 Avarias, Desgastes e Mecanismos de Desgastes das Ferramentas de Corte.

Ter o conhecimento sobre o processo de desgaste das ferramentas de corte viabiliza a tomada de ações eficazes e efetivas para a redução do mesmo. Segundo Machado *et al* (2009), avarias frequentes e desgastes acelerados das ferramentas de corte levam a um aumento de custos causados por paradas das máquinas para substituição destas ferramentas desgastadas trazendo assim uma perda na produtividade.

Segundo Machado *et al* (2009), observando as ferramentas podemos diferenciar desgaste, avaria e deformação plástica, onde os dois primeiros, geralmente, promovem a perda de material, enquanto o último promove somente o seu deslocamento.

O fenômeno repentino e inesperado, em sua maioria causado pela quebra, lascamento ou trinca da aresta de corte é chamado de avaria (Figura 2).



Figura 2: Avaria por quebra.  
Fonte: Sandvik (2012)

Segundo Machado *et al* (2009), ferramentas utilizadas em procedimentos de usinagem como fresamento por exemplo são constantemente substituídas devido a trincas, lascamentos e quebras, onde estes podem ocorrer devido a choques mecânicos ou térmicos.

Quando ocorre um deslocamento do material da ferramenta ocasionando em uma mudança na geometria da aresta de corte é detectado o fenômeno chamado de deformação plástica.

Segundo Sandvik (2012), desgaste é um fenômeno previsível, ocasionado pela utilização normal da ferramenta, levando ao fim da vida útil (Figura 3).

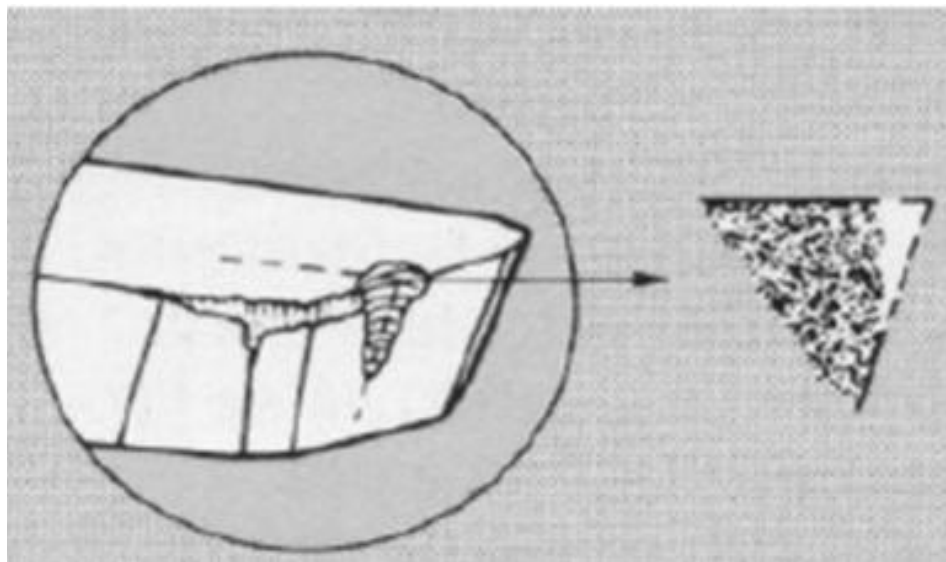


Figura 3: Desgaste de ferramenta de corte.  
Fonte: Sandvik (2012)

Machado *et al* (2009), diz que independentemente de a ferramenta ser tão tenaz que possa evitar uma avaria, ela sempre está suscetível ao desgaste.

Três formas básicas de desgaste podem ser identificadas: desgaste de cratera (Figura 4), desgaste de flanco (Figura 5) e desgaste de entalhe (Figura 6).

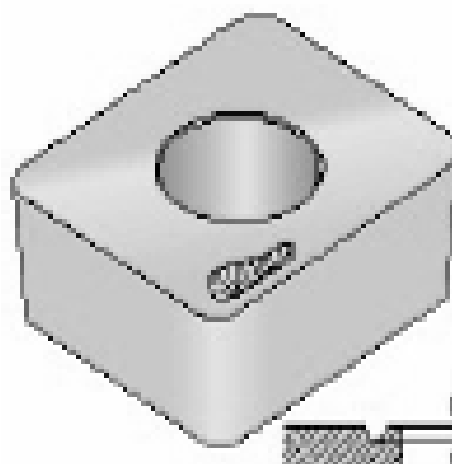


Figura 4: Desgaste de cratera.  
Fonte: Sandvik (2012)

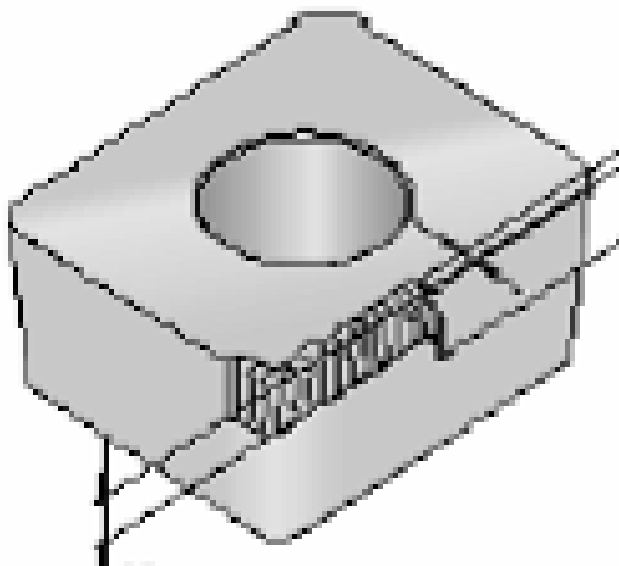


Figura 5: Desgaste de flanco.  
Fonte: Sandvik (2012)

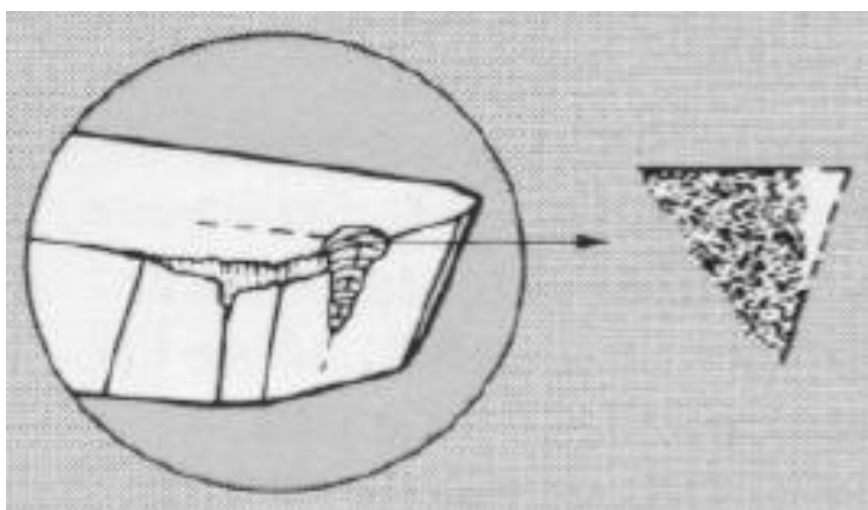


Figura 6: Desgaste por entalhe  
Fonte: Sandvik (2012)

A ideia é a de que esses desgastes não se tornem um impedimento para que o processo ocorra de forma correta. Para que tal fato não ocorra é necessário que a ferramenta seja afiada ou substituída.

O intervalo de tempo entre uma afiação e outra ou uma substituição é chamado de vida da ferramenta. Segundo Machado *et al* (2009), a velocidade de corte é o parâmetro que mais influencia no chamado desgaste da ferramenta, portanto a curva de vida de ferramenta é expressa em termos de velocidade de corte.

Quando identificadas as causas do desgaste surge a possibilidade de aumento da vida da ferramenta de corte. Farias (2000), diz que se tratando de madeira os principais contribuintes para o desgaste são a abrasão e a sollicitação mecânica.

Segundo Farias (2000), a forma de sollicitação e a duração do procedimento de usinagem influenciam diretamente no tipo de desgaste sofrido pela cunha.

Bonduelle (2001), diz que a qualidade do gume tem influencia direta sobre os tipos de desgaste que ocorrem na ferramenta de corte.

### **3.7 Geometria da Ferramenta de Corte**

Segundo Ferraresi (1982), cada perfil de ferramenta é escolhido para desempenhar uma operação específica de usinagem. Para que tal operação seja feita com precisão a geometria da ferramenta, ou seja, seus ângulos devem ser devidamente escolhidos. A escolha da geometria deve ser baseada nas seguintes partes da ferramenta:

- Superfície de saída onde o cavaco é formado e posteriormente percorre para sua efetiva saída.
- Superfície de folga na qual se encontra a aresta principal de corte.
- Cunha de corte formada pela intersecção das superfícies de folga e saída da ferramenta

Os principais ângulos a serem escolhidos são:

- Ângulo de cunha gerado pelas superfícies de saída e folga com o principal objetivo de potencializar a resistência mecânica da ferramenta.
- Ângulo de folga contido entre o plano de corte e a superfície de folga onde este faz com que a aresta de corte penetre no material e o corte livremente.
- Ângulo de saída gerado pelo plano de referencia de corte e pela superfície de saída exercendo influência sobre parâmetros como força, potência e temperatura de corte e acabamento.

Para o processo de torneamento são levados em conta outros dois ângulos importantes. Estes são o ângulo de ponta e o ângulo de posição (Figura 7).

- Ângulo de posição é formado pela aresta principal de corte e pela direção de avanço sobre o plano de referência, onde este controla o impacto da entrada da ferramenta de corte distribuindo as tensões, fazendo com que a espessura do cavaco seja alterada.
- Ângulo de ponta é formado pelas arestas lateral e principal de corte sobre o plano de referência tendo como principal função o aumento da resistência mecânica da ferramenta.

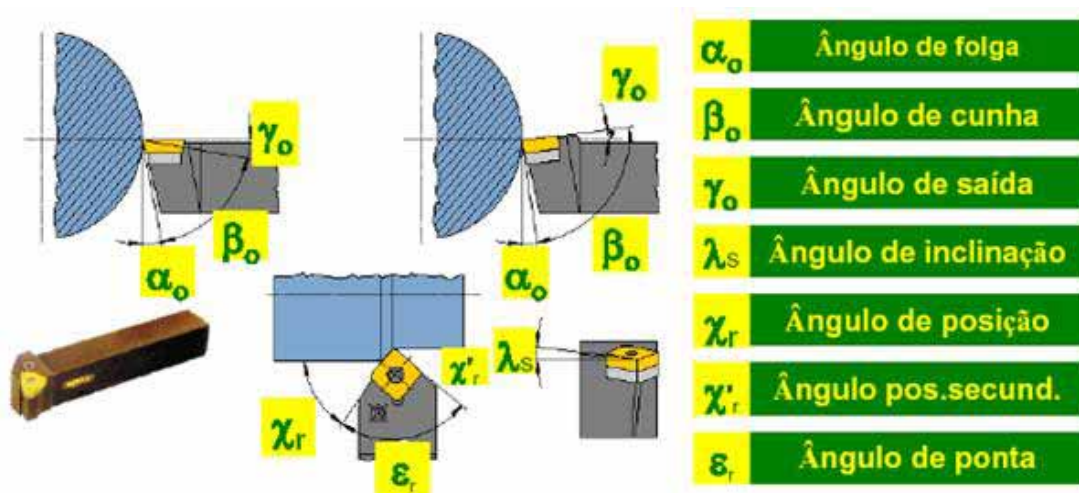


Figura 7: Ângulos de corte.  
Fonte: Sandvik (2012)

Onde os índices O, S e R se referenciam respectivamente ao plano ortogonal, plano de corte e plano de referência.

### 3.8 O Processo de Torneamento

O torneamento é um processo mecânico de usinagem definido como processo de usinagem de geometria definida destinado a obtenção de superfícies de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto, a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o eixo referido. Quanto à forma da trajetória, o torneamento pode ser retilíneo ou curvilíneo (COSTA *et al*, 2006).



Todo o processo de torneamento é feito no chamado Plano de Trabalho. Segundo Ferraresi (1982), este é o plano onde estão contidas as direções de avanço e de corte, ou seja, onde ocorre a formação do cavaco.

### 3.9 Torno CNC

Máquinas e ferramentas comandadas por computador são chamadas de CNC (comando numérico computadorizado). Hoje, é praticamente impossível imaginar a indústria, principalmente os setores mecânico e metalúrgico, sem a presença de máquinas-ferramenta CNC (COSTA *et al*, 2006).

Segundo Costa *et al* (2006), a possibilidade de fabricar peças com geometrias complexas, com maior precisão e com um acabamento mais satisfatório. Fabricação de peças com as mesmas características e redução de mão de obra são alguns dos benefícios trazidos pela utilização de máquinas CNC. Porém o uso destas trouxe alguns malefícios como a necessidade de elevados investimentos em maquinário, capacitação de profissionais para utilização efetiva da nova tecnologia ocasionando o desligamento da mão de obra não especializada.

O comando numérico é um equipamento eletrônico capaz de receber informações por meio de entrada própria, compilar essas informações e transmiti-las em forma de comando à máquina-ferramenta, de modo que esta, sem a intervenção do operador, realiza as operações na sequência programada. Os tornos com comando numérico diferem-se basicamente dos tornos convencionais, uma vez que não necessitam de acessórios que proporcionem o controle dos movimentos da máquina, tais como gabaritos, comes, limites, etc. e até mesmo a interferência direta do operador. Esses movimentos são comandados através de dados de entrada, que determinam os movimentos a serem executados, proporcionando ao equipamento e à peça uma condição bastante favorável, quando comparado com torno convencional, além de que, são maiores as garantias de uniformidade de qualidade de peça para peça e de lote para lote (SOUZA, 2011).

Durante o procedimento de usinagem em torno CNC a ferramenta desempenha dois movimentos de avanço (Figura 8): ao longo da peça e em direção ao centro da mesma. Segundo Souza (2011), são combinações dessas duas direções, resultando em superfícies cônicas ou cilíndricas, com as quais as unidades

de controle dos tornos CNC atuais podem lidar por meio de muitas possibilidades de programas.

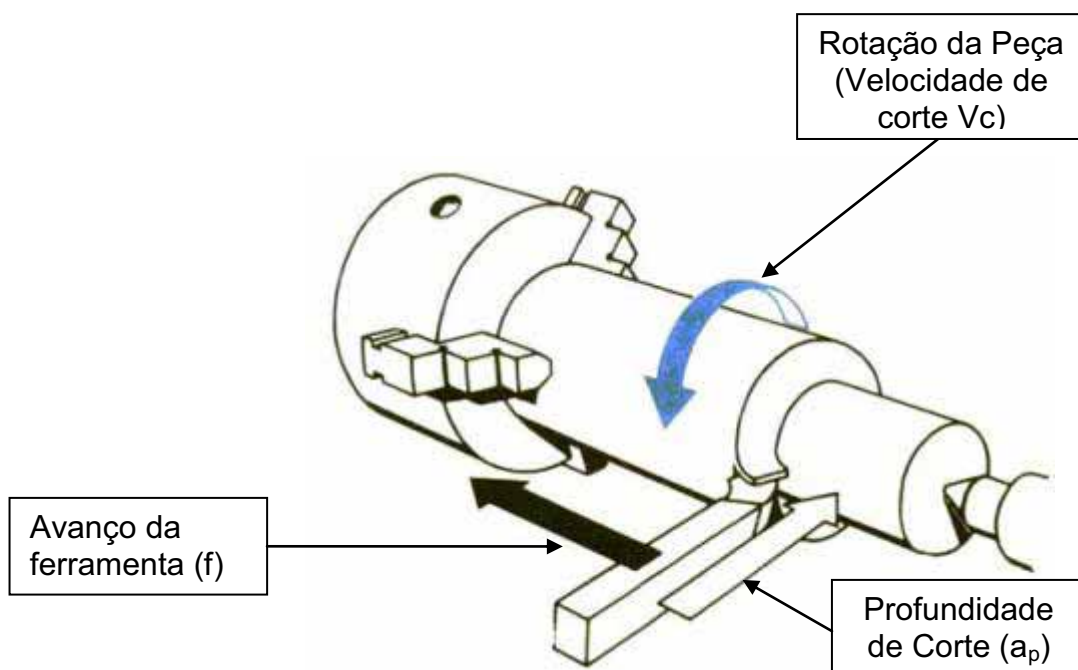


Figura 8: Representação dos movimentos no processo de torneamento.  
Fonte: Souza (2011)

A formação dos tipos de cavaco de acordo com as variáveis do processo pode ser observada na (Figura 9).

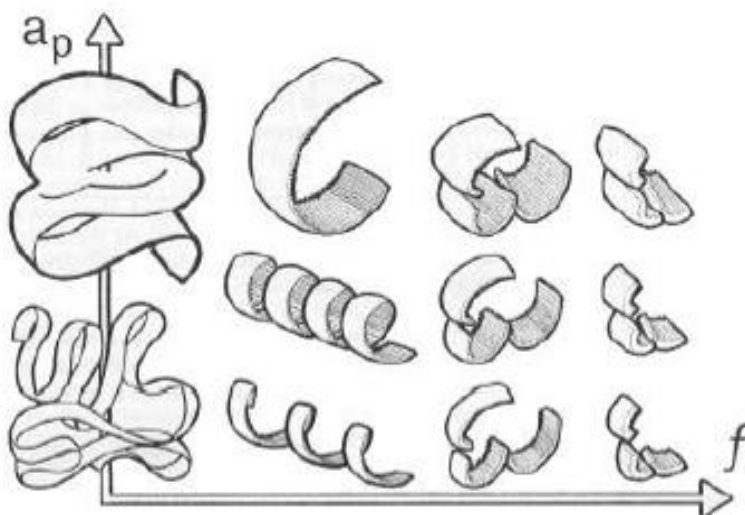


Figura 9: Variação da forma dos cavacos em função das variáveis de processo.  
Fonte: Machado e Silva (1999)

### 3.10 Software ImageJ

O ImageJ (Figura 10) é um software utilizado para o processamento e análise de imagens. Esta ferramenta tem como um de seus pontos chave a possibilidade, independente de qual seja o número de bits da imagem, do acesso fácil aos valores de cada pixel. As imagens que podem ser analisadas por este programa podem ter de 8 a 32 bits, onde este é capaz de medir distâncias, ângulos, criar gráficos entre outras inúmeras funcionalidades.

Este software vem sendo utilizado para estudos de desgaste de ferramentas em processos de usinagem. Souza (2009), desenvolveu metodologia para análise de desgaste de ferramentas através de digitalização destas ferramentas e posterior tratamento com o ImageJ. Nesta pesquisa o desgaste foi avaliado usando esta metodologia.

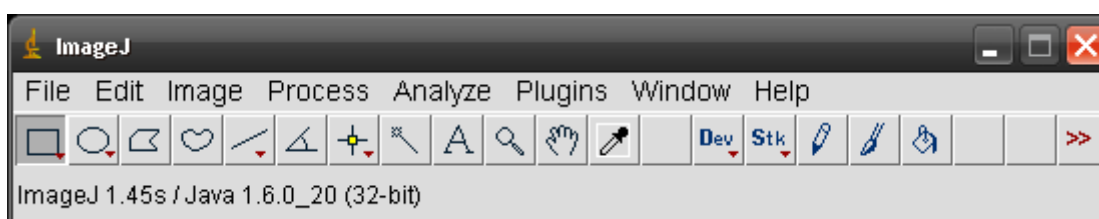


Figura 10: Barra de ferramentas do software ImageJ.

### 3.11 Software LabVIEW

O LabVIEW foi o software utilizado para a coleta dos dados utilizados posteriormente para a análise de consumo de potência para cada usinagem. O labview é uma linguagem de programação gráfica utilizada em grande parte para a realização de aquisição de dados e para o controle de processos. Para esta pesquisa foi desenvolvido um programa no LabVIEW com taxa de aquisição de dados de 400 pontos por segundo para captação da potência consumida no torneamento (Figura 11).



Figura 11: Programa desenvolvido em LabVIEW 7.1.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Antes de selecionar os corpos de prova para o efetivo procedimento de usinagem foi feita uma caracterização desta madeira em relação as suas densidades básica e aparente. A análise das densidades básicas e aparente foi feita segundo o procedimento a seguir:

Segundo a norma NBR 7190 a densidade básica da madeira é definida como a relação entre o peso da amostra seca em estufa e o seu volume saturado em água.

O método escolhido para a determinação dos valores foi o da balança hidrostática. A Equação (1) foi utilizada para o cálculo de densidade básica:

$$D_b = \left( \frac{m_s}{m_v - m_i} \right) \times D_a \quad (1)$$

Onde:  $D_b$  = densidade básica,  $\text{kg.m}^{-3}$ ;  
 $m_s$  = massa de amostra seca, em kg;  
 $m_v$  = massa de amostra saturada em água, em kg;  
 $m_i$  = massa de amostra saturada imersa em água, em kg;  
 $D_a$  = densidade da água a 25°C.

Os testes de densidade aparente foram feitos a partir do procedimento descrito na mesma norma. Neste pesou-se a massa dos corpos de prova em balança com precisão de 0,01 g e mediu-se o seu volume. O volume das peças foi medido a partir de um paquímetro com acuracidade de 0,05 mm. Um teor de umidade de 12%, conseguido em estufa, foi utilizado, onde este é expresso pela Equação (2):

$$D_{ap(12\%)} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (2)$$

Onde:  $D_{ap(12\%)}$  = densidade da madeira a 12% de umidade,  $\text{kg.m}^{-3}$ ;  
 $m_{12\%}$  = massa de amostra a 12% de umidade, em kg;  
 $V_{12\%}$  = volume da amostra a 12% de umidade, em  $\text{m}^3$ .

Para a realização dos ensaios foram utilizados 14 corpos de prova de madeira de Eucalipto *sp.* Foram utilizadas oito ferramentas EMCO unimat 3 (Figuras 12 e 13), de aço rápido (Tabela 1), sendo estas de 2 perfis diferentes (Tabela 2).

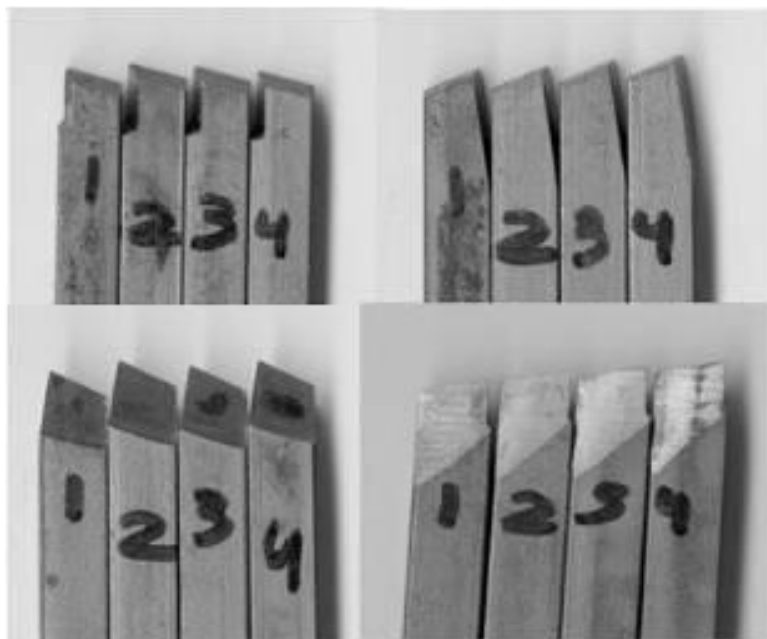


Figura 12: Ferramentas do perfil I em todas as suas vistas.

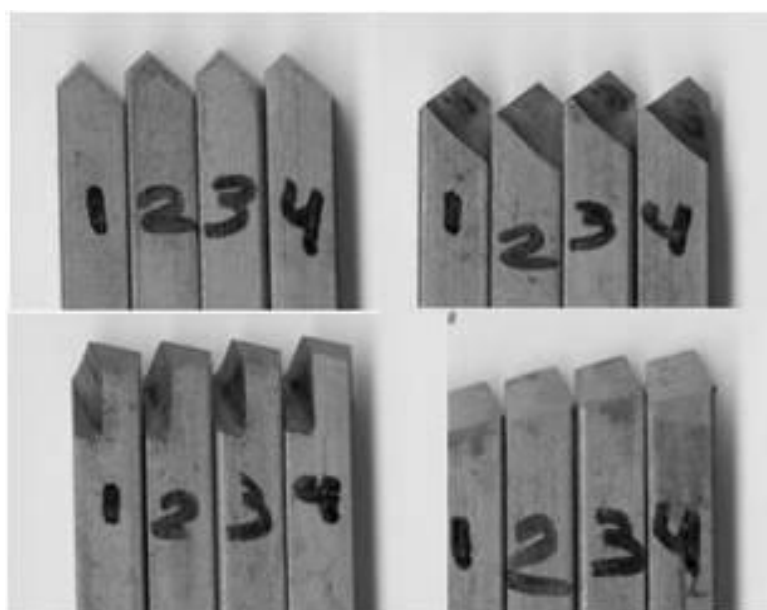


Figura 13: Ferramentas do perfil II em todas as suas vistas.

Tabela 1: Composição das ferramentas utilizadas

COMPOSIÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CORTE DE AÇO RÁPIDO UTILIZADAS (%)					
C	Cr	Mo	W	V	Co
0,92	4,15	5	6,3	1,85	4,8

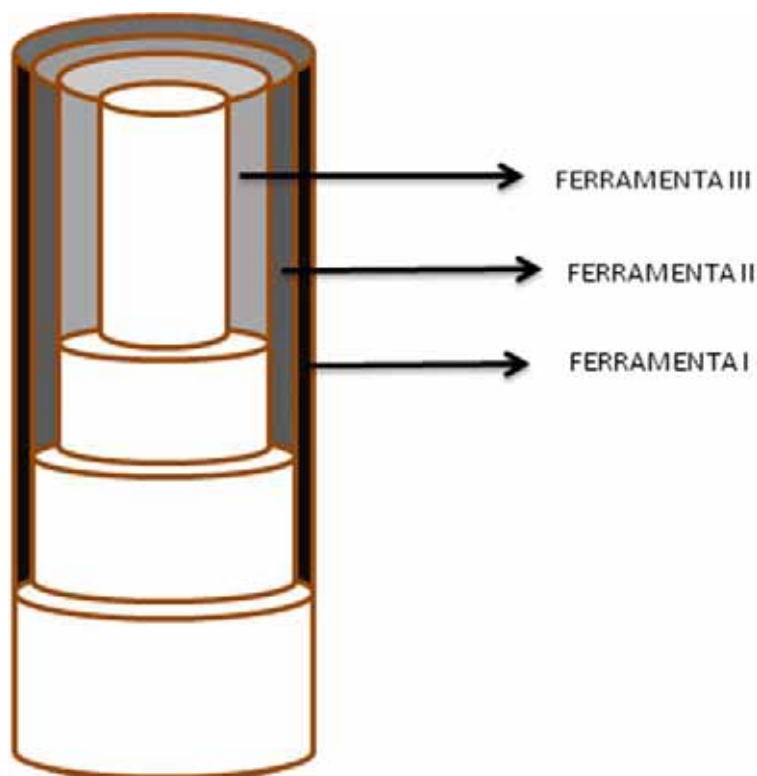


Figura 14: Região usinada com cada ferramenta de corte

Para as ferramentas I, II e III de cada perfil foram utilizados seis corpos de prova. Para as ferramentas IV de cada perfil foi utilizado um corpo de prova a fim de diminuir a interferência da anatomia da madeira no estudo dos cavacos formados.

Tabela 2: Geometria das ferramentas de corte.

GEOMETRIA DAS FERRAMENTAS						
	FOLGA	CUNHA	SAÍDA	PONTA	RAIO DA PONTA	POSIÇÃO
PERFIL I	9°	72°	9°	98°	0,97 mm	81°
PERFIL II	11°	60°	19°	77°	0,33 mm	40°

Primeiramente foram selecionados 20 corpos de prova a partir de uma análise visual, onde nesta foi avaliada a presença de defeitos naturais como nós e trincas indesejados para o procedimento. Após essa pré-seleção, os corpos escolhidos foram pesados em balança analítica de acuracidade 0,01 g, e a partir de uma análise de densidade selecionaram-se os 14 corpos de prova definitivos.

Depois de selecionados os corpos de prova foram enumerados aleatoriamente de 1 a 14.

Abaixo (Tabela 3) seguem os valores de diâmetro e massa dos 14 corpos de prova selecionados para procedimentos de usinagem:

Tabela 3: Diâmetro e Massa dos corpos de prova utilizados

CORPOS DE PROVA	DIÂMETRO (mm)	MASSA (g)
1	34,7	117,7
2	34,8	114,0
3	34,8	119,5
4	34,8	125,3
5	34,7	125,1
6	34,7	124,1
7	34,8	118,1
8	34,7	114,0
9	34,7	119,4
10	34,7	109,8
11	34,6	118,2
12	34,6	123,1
13	34,6	123,3
14	34,7	124,4

Os corpos de prova tem forma cilíndrica com as seguintes medidas médias (Figura 15):

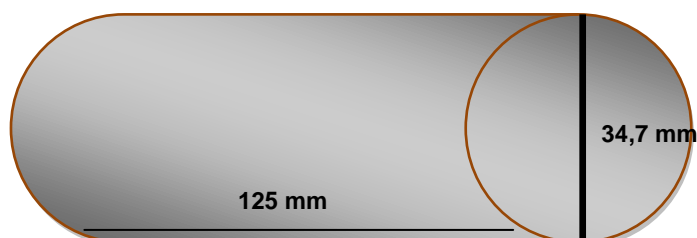


Figura 15: Dimensões dos corpos de prova antes dos procedimentos de usinagem.

Após as três usinagens as dimensões dos corpos de prova foram as descritas na Figura 16:



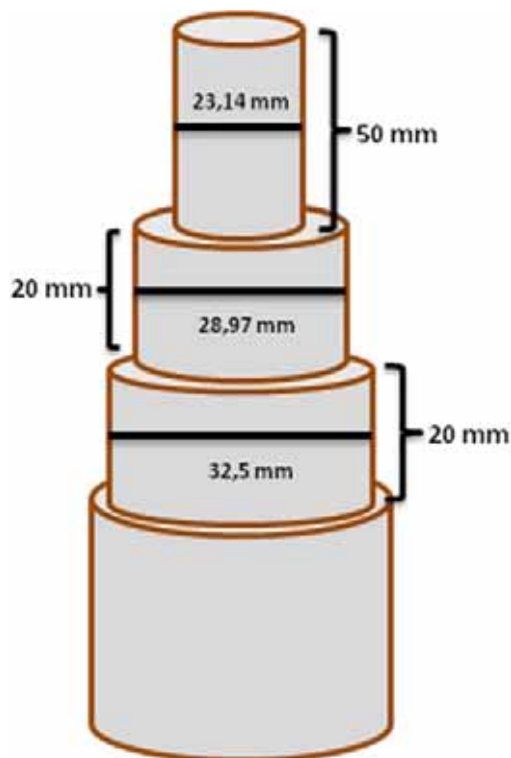


Figura 16: Dimensões dos corpos de prova após as 3 usinagens.

Todos os diâmetros, comprimentos e rotações utilizados tem o propósito de fazer com que o volume retirado em cada procedimento de usinagem seja o mesmo,  $11.928 \text{ mm}^3$ , para uma mesma velocidade de corte igual a  $2,4 \text{ m/s}$ .

Foram utilizados os seguintes equipamentos para a aquisição de dados e usinagem:

- um paquímetro com acuracidade de  $0,01 \text{ mm}$
- digitalizador de mesa marca HP 3800 com resolução de 4800 pontos por polegada, onde ,a partir das imagens geradas, foi feita a análise de desgaste das ferramentas.
- sensor de potência da marca LEM modelo AT 5 B10 e com saída de  $0 - 10\text{Vcc}$  proporcional à corrente do motor com conversor analógico digital da marca National Instruments, para aquisição de dados de consumo de energia (Figura17):



Figura 17: Sensor de Potência AT 5 B10 da marca LEM

Fonte: LEM (2012)

- microcomputador IBMPC® compatível contendo um aplicativo desenvolvido dentro do ambiente LabVIEW capaz de fazer a aquisição do consumo da potência do motor do torno durante todo o processo de experimentação (Figura 18).



Figura 18: Programa desenvolvido em LabView 7.1.

- Bloco de conectores e cabo de ligação placa/bloco de conectores marca National Instruments, modelo do bloco de conectores NI BNC 2120 e modelo do cabo SHC68-EPM (2 m) 192061-02. Onde este realiza a interface entre os sinais analógicos (enviados pelos sensores descritos acima) e digitais do sensor para posteriormente enviá-los para uma placa de aquisição de dados.

- Placa de aquisição de dados marca National Instruments, modelo NI PCI 6220. A placa de aquisição de dados tem a função de receber os sinais analógicos do sensor e transformá-los em sinais digitais para ser interpretado pelo software no microcomputador. O software utilizado para captação dos dados adquiridos pelos sensores foi feito no programa LabView®7.1 da National Instruments, onde foi elaborado um programa para adquirir os dados com uma taxa de aquisição de 400 pontos por segundo em forma de matriz salvando em arquivo de texto.
- Torno da EMCO Compact 5 CNC, utilizado para fazer a usinagem das peças (Figura 19).



Figura 19: Torno da EMCO Compact 5 CNC.

Para os procedimentos de usinagem foram utilizadas uma velocidade de avanço (F) de 70 mm/min, uma velocidade de corte de 2,4 m/s, ambas para uma profundidade de corte  $a_p$  (H) de 1 mm.

#### 4.1 Procedimento de Usinagem

Para o procedimento usinagem seguiu-se as seguintes etapas:

- Primeiramente foi feita a seleção dos corpos de prova a partir do procedimento já citado. Em paralelo foi feita a digitalização das ferramentas de corte para posterior análise do desgaste. Feito isso se colocou a ferramenta no torno CNC onde esta foi fixada no porta ferramenta da máquina deixando 15 mm entre a ponta da ferramenta e o porta ferramenta, fixando-se o corpo de prova na castanha do torno CNC e ajustando-o para centralizá-lo. Depois da ferramenta e corpo de prova estarem fixados, o torno foi ligado a uma rotação de 1000 RPM para que possa ser feita aproximação manual da ferramenta na nas direções Z e X para que possa dessa forma uniformizar o diâmetro.

- Após isso, para o ajuste da coordenada Z, aproximou-se a ferramenta da face da peça até tocá-la. Esta coordenada foi definida como sendo o zero em Z. Após zerar Z moveu-se a ferramenta até a posição 2500 em Z e 2000 em X. Finaliza-se então a etapa manual e passa-se para o modo CNC. Esse procedimento repete-se sempre que há uma troca de perfil de ferramenta. No programa G/M se refere a códigos de funcionamento da máquina, F é o avanço da ferramenta e H a profundidade de corte.

-Passando-se para o modo CNC digita-se o programa da Tabela 4 para a primeira usinagem:

Tabela 4: Programa utilizado para usinagem da primeira região.

N	G/M	COMANDOS	X	Z	F	H
0	G21	0 FIXADO				
1	M03	Ligar Motor				
2	G92	Diâmetro Inicial	4000	2500		
3	G01	Avanço Lento	3850	200	50	
4	G84	Avanço Rápido	3250	-9000	70	100
5	G00	Parar Usinagem	4000	2500		
6	M30	Finalizar				

Para esta primeira usinagem o torno foi ajustado para uma rotação de 1424 RPM. O diâmetro final da seção usinada foi de 32.5 mm. Após esta primeira usinagem os corpos de prova ficaram como apresentado na Figura 20:

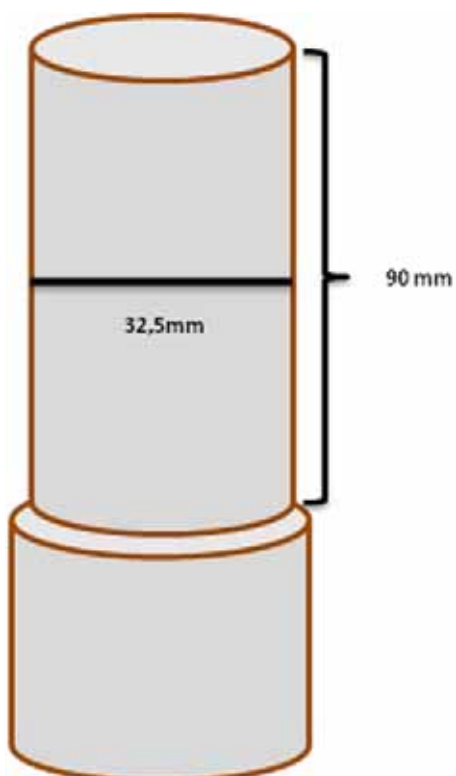


Figura 20: Aparência dos corpos de prova após a primeira usinagem.

Usinados os seis corpos de prova, desligou-se os motores com o comando G64 para que estes não superaqueçam correndo o risco de queimarem, desligou-se o torno, e em seguida trocou-se a ferramenta I perfil I para a ferramenta II perfil I a partir do procedimento já citado acima. Trocada a ferramenta passou-se o torno para o modo CNC e digitou-se o programa da Tabela 5 para a segunda usinagem.

Tabela 5: Programa utilizado para usinagem da segunda região.

N	G/M	COMANDOS	X	Z	F	H
0	G21	0 FIXADO				
1	M03	Ligar Motor				
2	G92	Diâmetro Inicial	4000	2500		
3	G01	Avanço Lento	3497	200	50	
4	G84	Avanço Rápido	2897	-7000	70	100
5	G00	Parar Usinagem	4000	2500		
6	M30	Finalizar				

Para esta segunda usinagem o torno foi ajustado para uma rotação de 1597 RPM. O diâmetro da seção usinada foi de 28,97 mm. Ao final do segundo procedimento de usinagem os corpos de prova ficaram com a seguinte aparência (Figura 21):

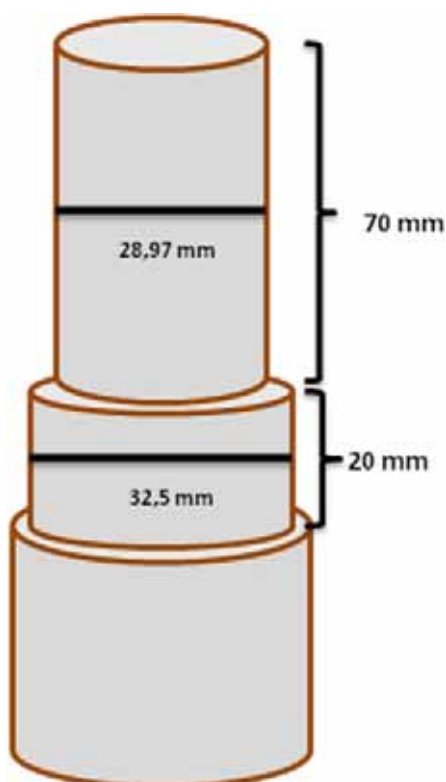


Figura 21: Aparência dos corpos de prova após a segunda usinagem.

Usinados os seis corpos de prova, desligaram-se os motores com o comando G64 para que estes não superaqueçam correndo o risco de queimarem,

desligou-se o torno, e em seguida trocou-se a ferramenta II perfil I para a ferramenta III perfil I a partir do procedimento já citado acima. Trocada a ferramenta passou-se o torno para o modo CNC e digitou-se o programa da Tabela 6 para a terceira usinagem.

Tabela 6: Programa utilizado para usinagem da terceira região.

N	G/M	COMANDOS	X	Z	F	H
0	G21	0 FIXADO				
1	M03	Ligar Motor				
2	G92	Diâmetro Inicial	4000	2500		
3	G01	Avanço Lento	3114	200	50	
4	G84	Avanço Rápido	2314	-5000	70	100
5	G00	Parar Usinagem	4000	2500		
6	M30	Finalizar				

Para esta terceira usinagem o torno foi ajustado para uma rotação de 2000 RPM. O diâmetro final da seção usinada foi de 23,14mm. Finalizado o terceiro procedimento de usinagem os corpos de prova apresentam a aparência (Figura 22):

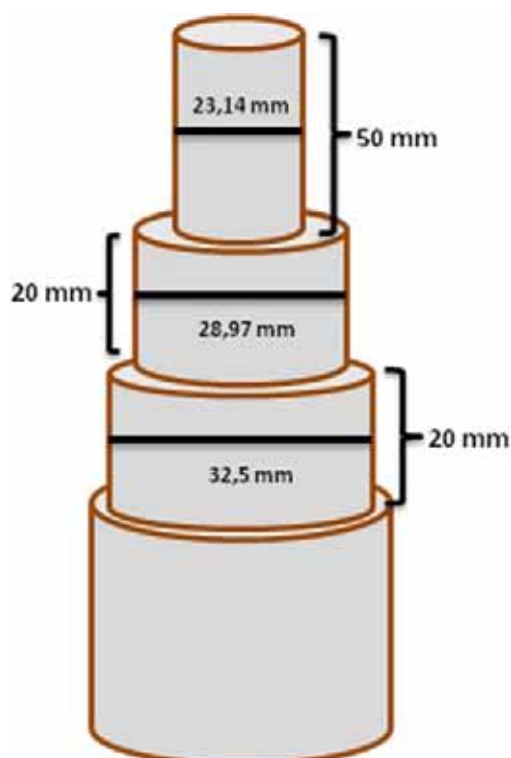


Figura 22: Aparência dos corpos de prova após a terceira usinagem.

Usinados os seis corpos de prova, desligaram-se os motores com o comando G64 para que estes não superaqueçam correndo o risco de queimarem, desligou-se o torno, e em seguida trocou-se a ferramenta III perfil I pela ferramenta I perfil II a partir do procedimento já citado acima. Após esta troca de ferramenta passou-se o torno para o modo manual para que sejam feitos os ajustes nas direções Z e X como já citado anteriormente. Feito isso se passa para o modo CNC e repetem-se todas as etapas feitas com as ferramentas do perfil I só que agora utilizando as ferramentas do perfil II para os corpos de prova de 7 a 12.

## 4.2 Medição da Rugosidade das Peças Usinadas

A etapa de medição da rugosidade das peças foi feita a partir de um rugosímetro (Taylor Robson 25+, com filtro Gaussiano, apalpador com raio de 2  $\mu\text{m}$ , cut-off 2,5 mm e Range de 300  $\mu\text{m}$ ).

Para cada região usinada foram feitas 6 medições de rugosidade. Para cada medição posicionou-se o corpo de prova de tal forma que a agulha (parte do rugosímetro que capta as diferentes ondulações existentes na peça) esteja posicionada na região desejada. Feito isso ligou-se o rugosímetro (Figura 23) e este realizou a medição. Para cada medição repetiu-se o procedimento. Para cada corpo de prova foram feitas 18 medições, somando-se ao todo 216 medições de rugosidade para os 12 corpos de prova.



Figura 23: Rugosímetro.



### 4.3 Amostras de Cavaco

Após ter usinado os corpos de prova de 1 a 6 com as 3 ferramentas do perfil I, e os corpos de prova de 7 a 12 com as 3 ferramentas do perfil II, foram selecionados mais 2 corpos de prova, seguindo o mesmo procedimento para a seleção dos corpos de prova anteriores. Estes foram nomeados de corpos de prova 13 e 14. Uma quarta ferramenta do perfil I foi utilizada para usinar sem intervalos as 3 regiões para o corpo de prova 13. O mesmo foi feito para uma quarta ferramenta do perfil II para o corpo de prova 14. Para tal procedimento foram utilizados outros dois corpos de prova para que o cavaco coletado para análise fosse proveniente de uma madeira em uma mesma condição, e foram utilizadas duas ferramentas novas, uma de perfil I e outra de perfil II, para evitar que o desgaste já sofrido devido aos procedimentos de usinagem anteriores, influenciasse na formação do cavaco.

Durantes os procedimentos de usinagem foram coletadas amostras de cavaco de cada peça por região usinada. Finalizados os procedimentos de usinagem foi feita uma comparação entre cada amostra e a formação dos tipos de cavaco de acordo com as variáveis do processo (Figura 9), e uma comparação entre as amostras para cada perfil de ferramenta.

### 4.4 Medição do Consumo de Potência

Para a aquisição da potência criou-se um programa utilizando a linguagem Labview<sub>R</sub> 7.1. (Figura 18). Este programa foi responsável por receber os sinais elétricos do sensor de potência Marca LEM modelo AT 5 B10 e com saída de 0 – 10 Vcc, e armazená-los em um arquivo de dados.

Antes de iniciar o procedimento de usinagem nomeava-se o arquivo de dados a de forma que o nome dado a este possa identificar que os dados de potência são referentes ao corpo de prova que esta sendo utilizado juntamente com a região que será usinada, e qual ferramenta será utilizada para o procedimento de usinagem. Com o arquivo de dados criado, o programa de aquisição foi colocado em execução iniciando a coleta a partir deste momento. Feito isso se iniciou o procedimento de usinagem propriamente dito. Ao final do procedimento de usinagem

o programa é finalizado e o arquivo salvo. Para cada usinagem feita esse procedimento foi repetido.

Após a conclusão de todos os procedimentos de usinagem, todos os dados coletados pelo programa labview foram passados para uma planilha eletrônica. Para o cálculo da potência foi necessária a conversão do sinal do sensor de potência. Tal conversão foi feita para os dados técnicos do sensor que fornece dados de saída a uma tensão proporcional a uma corrente de 0 a 10 Vcc, onde este capta correntes de 0 a 5 A.

Portanto, para saber a corrente consumida pelo motor (I), foi aplicada a seguinte Equação (3):

$$I=V_{cc}/2 \quad (3)$$

Após determinada a corrente do motor, utilizou-se a Equação 4 para a determinação da potência (P);

$$P=I * 220 \quad (4)$$

Feito isso foram calculadas as médias dos valores de potência coletados de cada usinagem realizada. A partir desses valores de média foram calculadas as médias de consumo de potência e seus desvios padrões para cada região por perfil de ferramenta. Um gráfico foi plotado utilizando os valores de média por região usinada para cada perfil de ferramenta.

#### **4.5 Medição do Desgaste das Ferramentas**

Para a análise do desgaste das ferramentas utilizadas foi feito um procedimento de comparação entre as imagens das ferramentas antes de qualquer procedimento de usinagem e após todas essas terem sido realizadas. Antes de iniciar os procedimentos de usinagem as ferramentas foram digitalizadas em um scanner HP 3800 e estas imagens foram armazenadas. Após todos os procedimentos de usinagem terem sido realizados as ferramentas foram novamente digitalizadas em scanner HP 3800 e suas imagens foram armazenadas. Após todas

as imagens estarem armazenadas utiliza-se o software ImageJ para efetuar as medições das faces da ferramenta que participam efetivamente do procedimento de usinagem. Com todas as medidas em mãos é feito um comparativo entre estas e mede-se o efetivo desgaste das ferramentas. Esta metodologia foi desenvolvida por Souza (2009) em sua tese de doutorado.

#### 4.6 Medição da Temperatura de Corte por Região Usinada

Semelhante ao procedimento feito para a análise do cavaco por região usinada para a medição da temperatura foi utilizados os corpos de prova nomeados 13 e 14 e as ferramentas IV de ambos os perfis, a fim de evitar influências vindas por parte do desgaste das ferramentas sofrido em outras usinagens e para que os dados sejam provenientes de uma mesma madeira. Para cada região usinada foram feitas medições (Figura 25) de temperatura utilizando uma câmera infravermelha, FLIR SYSTEMS, modelo FLIR i5 (Figura 24). Foi utilizada uma emissividade de 0,95.



Figura 24: Câmera infravermelha utilizada na medição da temperatura.

Fonte: Flir (2012)

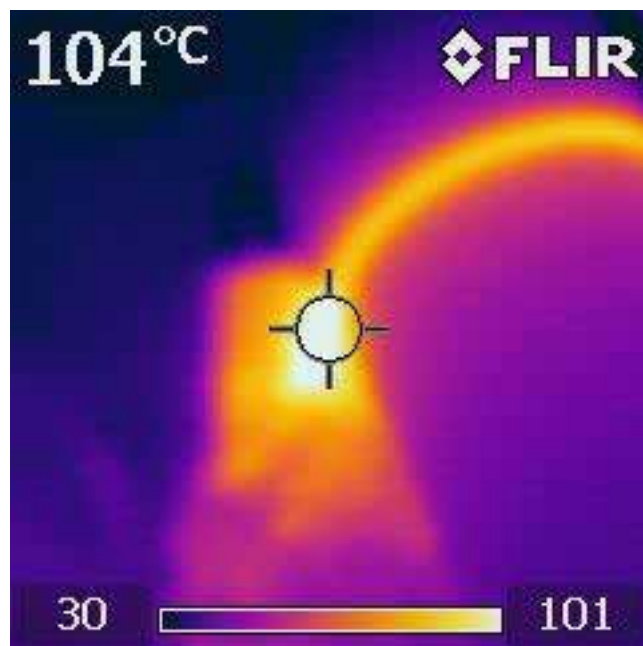


Figura 25: Imagem feita a partir da câmera infravermelha.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao final de todos os ensaios os dados coletados de rugosidade, potência, desgaste de ferramenta e cavaco, foram analisados sendo obtidos os seguintes resultados:

### 5.1 Densidade Básica e Aparente

Terminados os ensaios de densidade básica e aparente foram encontrados os seguintes resultados: a densidade aparente média dos 30 corpos de prova foi  $959 \text{ kg.m}^{-3}$ , com teor de umidade de equilíbrio (UE) de 12,5 %. Depois da saturação dos corpos de prova, foram coletados por amostragem, 30 corpos de prova, e calculado a média das densidades básicas, que foi de  $731 \text{ kg.m}^{-3}$ . A Tabela 7 apresenta os valores médios de densidade básica ( $D_{bm}$ ) e aparente ( $D_{apm,12\%}$ ), com coeficiente de variação (CV) e o número de amostras (N).

Tabela 7: Densidade média básica e aparente para o *Corymbia citriodora*.

	D ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	CV (%)	N
$D_{apm, 12\%}$	959,1	14,2	30
$D_{bm}$	731,7	8,9	30

### 5.2 Rugosidade das Peças

Concluídas as medições de rugosidade, calculou-se a média e o desvio padrão para os valores obtidos de cada região. Analisando os dados pode-se ver que a rugosidade média obtida para as peças usinadas com as ferramentas de perfil II para cada região, são maiores do que a rugosidade média obtida para as peças usinadas com as ferramentas de perfil I para cada região (Figura 26).

Tabela 8: Média e Desvio Padrão Rugosidade das peças por perfil de ferramenta para cada região usinada.

	PRIMEIRA REGIÃO		SEGUNDA REGIÃO		TERCEIRA REGIÃO	
	MEDIA ( $\mu\text{m}$ )	DESVIO PADRÃO	MEDIA ( $\mu\text{m}$ )	DESVIO PADRÃO	MEDIA ( $\mu\text{m}$ )	DESVIO PADRÃO
PERFIL I	6,2	1,8	3,4	1,4	8,2	1,9
PERFIL II	12,6	4,5	15,3	6,2	16,6	4,7

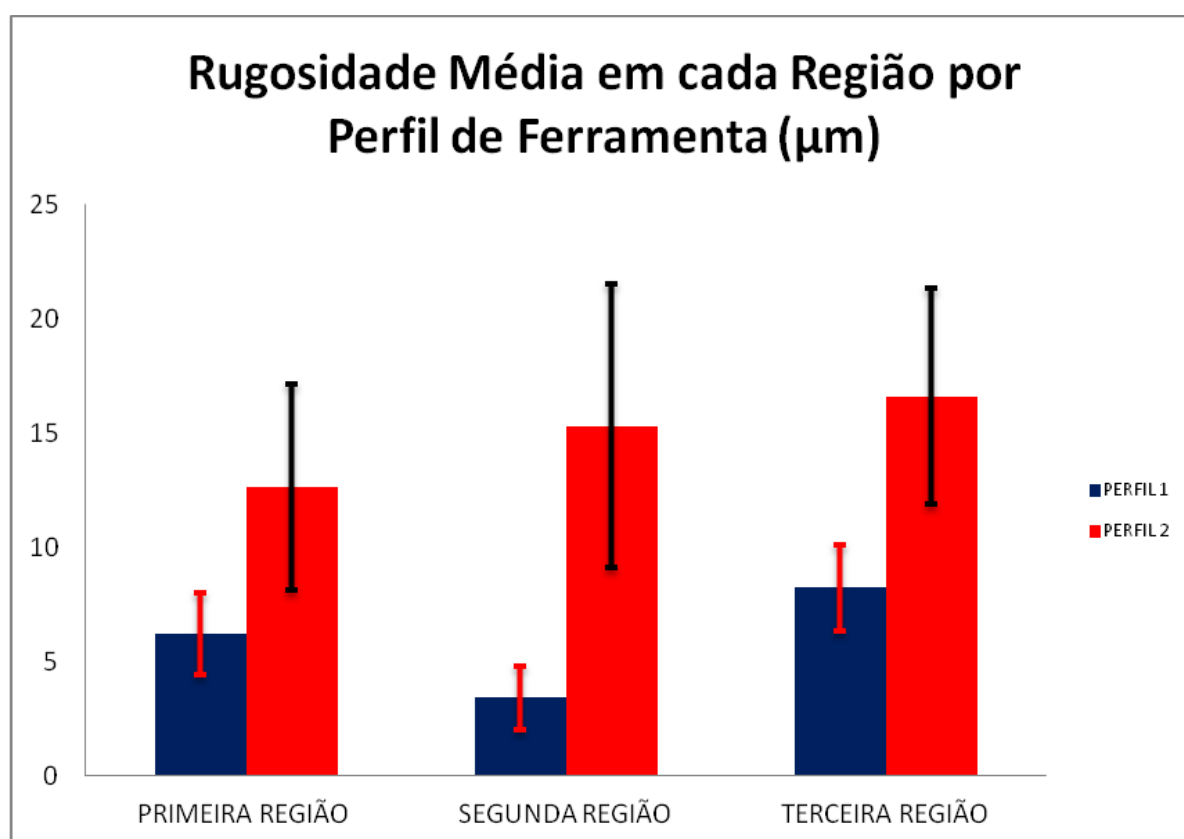


Figura 26: Rugosidade média em cada região por perfil de ferramenta.

Tal fato se deve aos ângulos de ponta e de posição das ferramentas de perfil II serem menores do que os das ferramentas de perfil I como se pode observar na Tabela 2. Pode-se também observar para ambos os perfis de ferramentas o fato de ocorrer uma piora na rugosidade quanto menor é o diâmetro final.

### 5.3 Consumo de Potência

Concluído o procedimento de usinagem das 12 peças reuniram-se todos os valores de potência obtidos a partir do software labview e, a partir desses,

calculou-se a média e o desvio padrão para os valores obtidos de cada ferramenta utilizada. Analisando os dados pode-se ver que o consumo médio de potência obtido para as peças usinadas com as ferramentas de perfil II para cada região, são maiores do que o consumo médio de potência obtido para as peças usinadas com as ferramentas de perfil I para cada região (Figura 27).

Tabela 9: Média e Desvio Padrão Potência consumida por perfil de ferramenta para cada região usada.

	PERFIL I			PERFIL II		
	FERRAMENTA	FERRAMENTA	FERRAMENTA	FERRAMENTA	FERRAMENTA	FERRAMENTA
	I	II	III	I	II	III
MÉDIA (Watt)	264,8	269,7	264,5	287,8	301,5	286,4
DESVIO PADRÃO	23,2	21,2	10,8	24,6	24,9	17,5

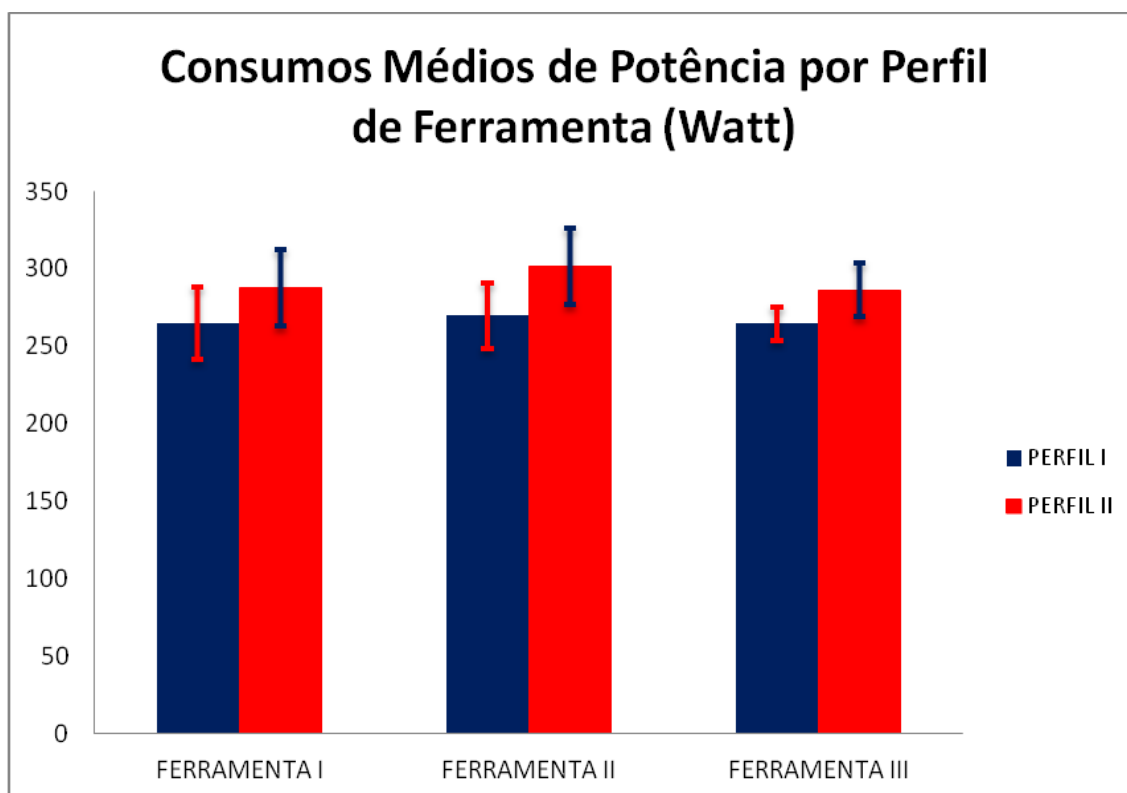


Figura 27: Consumo médio de potência por perfil de ferramenta (Watt).

Observando o gráfico (Figura 27) pode-se ver que os valores de consumo médio de potência e desvio padrão encontrados para as usinagens feitas com as

ferramentas de perfil I são menores do que os valores encontrados para as usinagens feitas com as ferramentas de perfil II. Tal fato é causado pela geometria da ferramenta II (Tabela 2), o qual dificulta o corte gerando uma maior necessidade de força e por consequência um maior consumo de potencia.

A diferença entre os diâmetros não trouxe nenhuma influência significativa para os resultados.

#### **5.4 Análise da Forma Cavaco**

Observando as amostras de cavaco coletadas durante o procedimento de usinagem de cada peça por região usinada pode-se observar que os cavacos formados durante as usinagens com as ferramentas de perfil I (Figuras 28, 29 e 30) são menores e menos contínuos do que os formados durante as usinagens com as ferramentas de perfil II (Figuras 31, 32 e 33). Também pode ser observado que quanto menor foi o diâmetro da peça, mais fino e menos contínuo foi o cavaco formado como observado por Machado e Silva (1999).



Figura 28: Cavaco ferramenta IV perfil I primeira região





Figura 29: Cavaco ferramenta IV perfil I segunda região



Figura 30: Cavaco ferramenta IV perfil I terceira região.



Figura 31: Cavaco ferramenta IV perfil II primeira região.



Figura 32: Cavaco ferramenta IV perfil II segunda região.



Figura 33: Cavaco ferramenta IV perfil II terceira região.

### 5.5 Desgaste das Ferramentas de Corte

As imagens utilizadas para a efetiva comparação entre as ferramentas de corte antes e depois dos procedimentos de usinagem estão mostradas abaixo com os seus respectivos valores de desgaste para cada ferramenta.

Tabela 10: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta I Perfil I.

Ferramenta I	Antes da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	145,5
	Depois da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	135,7
	DESGASTE EFETIVO ( $\mu\text{m}$ )	9,8

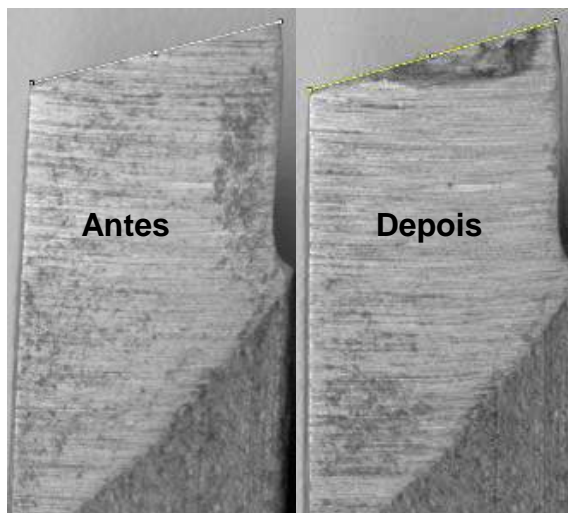


Figura 34: Ferramenta I Perfil I Antes e Depois dos procedimentos de usinagem.

Tabela 11: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta II Perfil I.

Ferramenta II	Antes da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	159,2
	Depois da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	152,8
	DESGASTE EFETIVO ( $\mu\text{m}$ )	6,3

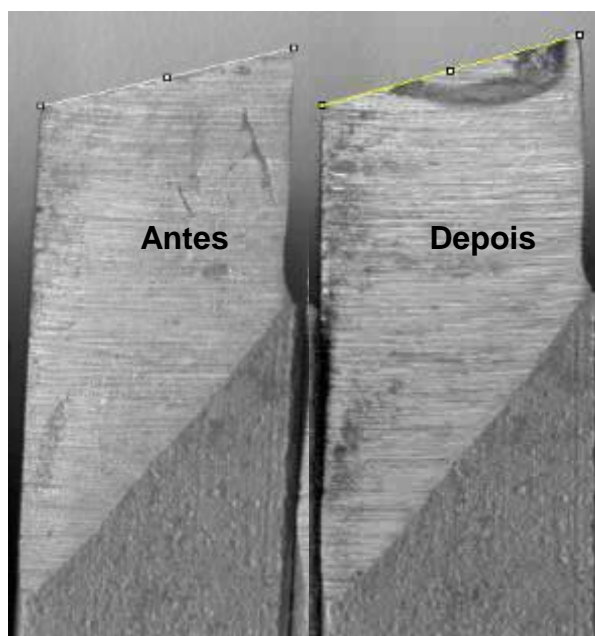


Figura 35: Ferramenta II Perfil I Antes e Depois dos procedimentos de usinagem.

Tabela 12: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta III Perfil I.

Ferramenta III	Antes da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	147,6
	Depois da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	133,9
	DESGASTE EFETIVO ( $\mu\text{m}$ )	13,6

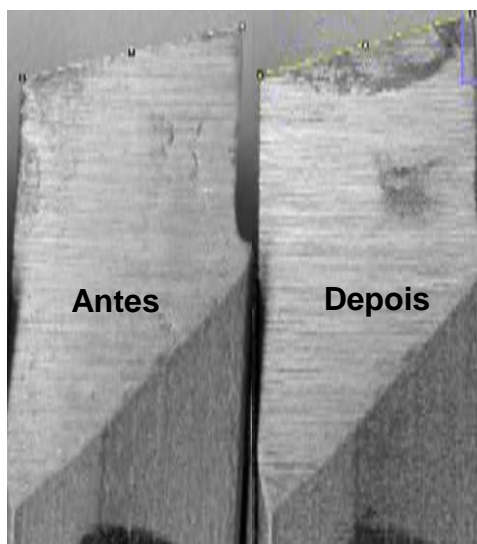


Figura 36: Ferramenta III Perfil I Antes e Depois dos procedimentos de usinagem.

Tabela 13: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta I Perfil II.

Ferramenta I	Antes da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	157,5
	Depois da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	150,9
	DESGASTE EFETIVO ( $\mu\text{m}$ )	6,6

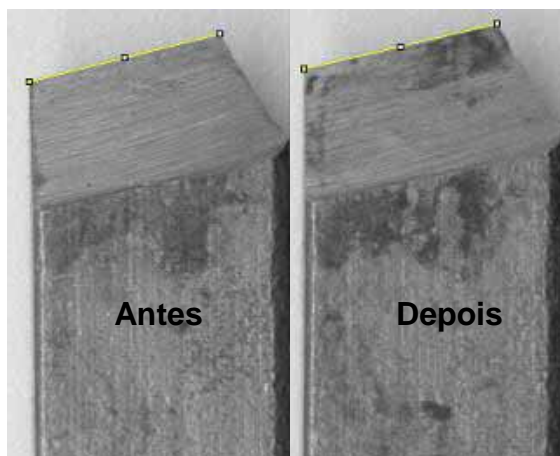


Figura 37: Ferramenta I Perfil II Antes e Depois dos procedimentos de usinagem.

Tabela 14: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta II Perfil II.

Ferramenta II	Antes da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	154,2
	Depois da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	139,6
	DESGASTE EFETIVO ( $\mu\text{m}$ )	14,6

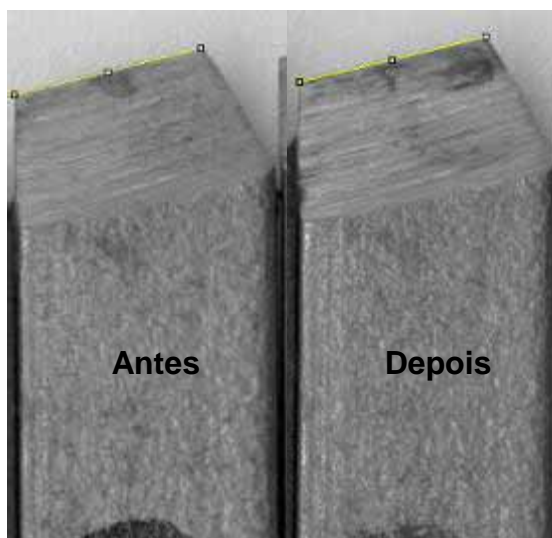


Figura 38: Ferramenta II Perfil II Antes e Depois dos procedimentos de usinagem.

Tabela 15: Medida da aresta de corte Antes e Depois do procedimento de usinagem para a Ferramenta III Perfil II.

Ferramenta III	Antes da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	171,4
	Depois da Usinagem ( $\mu\text{m}$ )	152,6
	DESGASTE EFETIVO ( $\mu\text{m}$ )	18,7

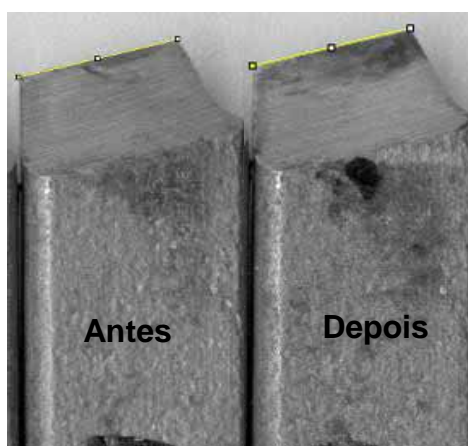


Figura 39: Ferramenta III Perfil II Antes e Depois dos procedimentos de usinagem.

Como se pode ver no gráfico (Figura 40) para as ferramentas II e III de ambos os perfis ocorreu um desgaste maior das ferramentas de perfil II. Isso pode ter ocorrido devido a geometria das ferramentas de perfil II (Tabela 2), ângulos de cunha, saída, ponta e posição, e raio de ponta serem significativamente menores dos que os das ferramentas de perfil I oferecendo menor resistência mecânica à abrasão.

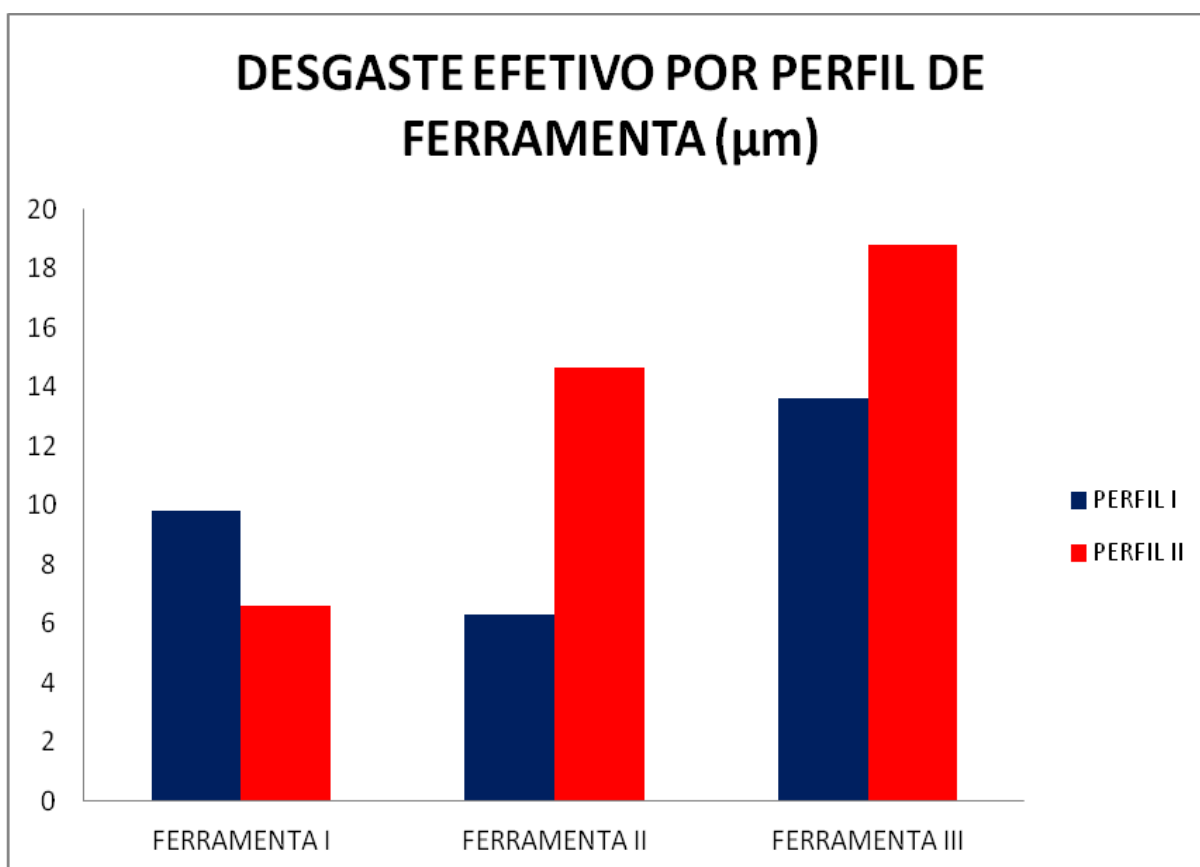


Figura 40: Desgaste efetivo por perfil de ferramenta.

## 5.6 Temperatura em cada Região Usinada

Terminados as usinagens dos corpos de prova 13 e 14 foram obtidos os seguintes resultados de temperatura (Figura 41):

Analisando os valores de temperatura encontrados pode-se ver as encontradas durante as usinagens onde se utilizou a ferramenta de perfil I são maiores do que as encontradas para o perfil II. Pode-se ver também que quanto menor o diâmetro final de usinagem maior foi a temperatura de usinagem encontrada.

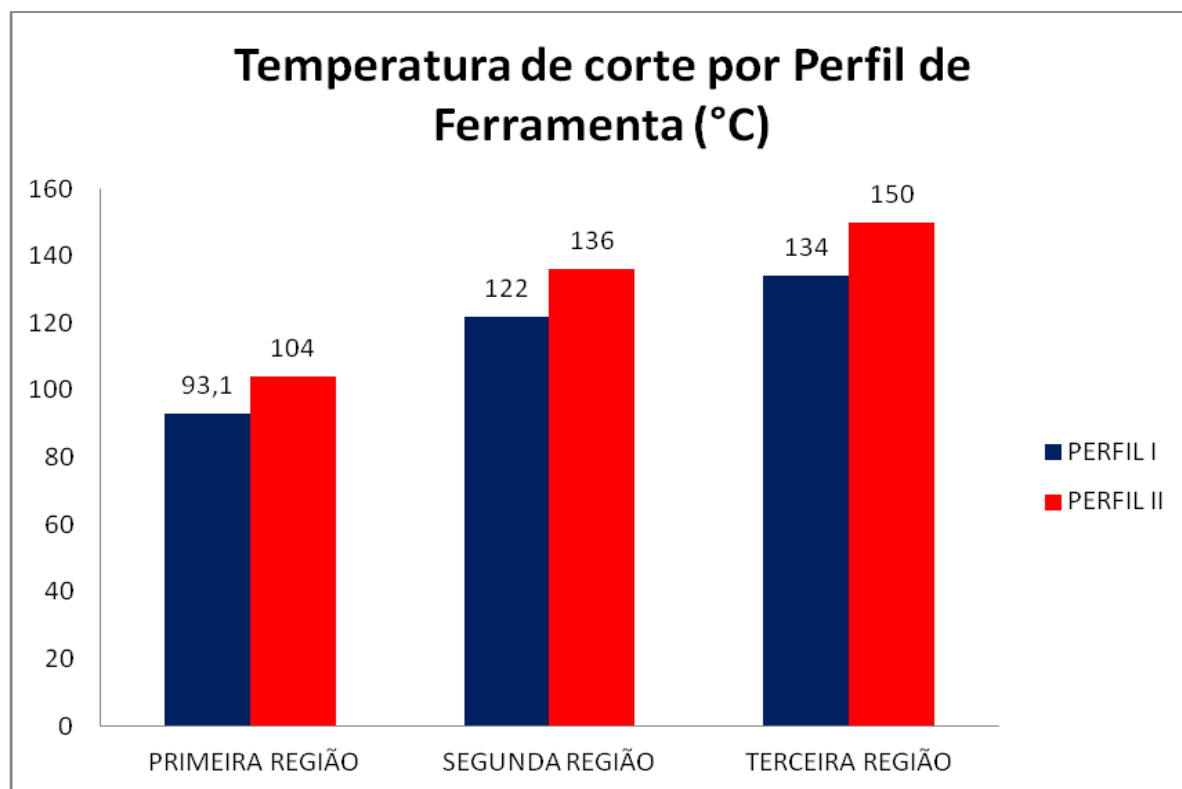


Figura 41: Temperatura de usinagem por perfil de corte.



## 6. CONCLUSÃO

A partir deste trabalho pode-se concluir que as diferentes geometrias de corte de ferramentas de aço rápido tem influência direta sobre o processo de torneamento de madeira de Eucalipto *sp*, quando tratando-se de potência consumida, rugosidade, aspectos dos cavacos obtidos, temperatura de usinagem e desgaste das ferramentas de corte.

De forma geral pode-se concluir os resultados encontrados para as ferramentas de perfil II são piores quando comparados aos resultados obtidos com as ferramentas de perfil I. Tal fato se deve as diferentes geometrias de corte entre os dois perfis de ferramenta.

Tratando-se da influência do diâmetro pode-se concluir que todos os parâmetros estudados neste trabalho pioram quanto menor for o diâmetro final da peça, exceto potência de torneamento.

Por fim conclui-se que a madeira de Eucalipto *SP* tem boa usinabilidade quando se tratando do processo de torneamento, visto a tendência dos resultados serem semelhantes para os diferentes parâmetros estudados.

Lembrando sempre que a madeira é um material de origem natural, sendo assim os resultados são sempre dependentes de sua estrutura.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Heraldo José de. **ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE DE CORTE, DESGASTE DE FERRAMENTA, RUGOSIDADE E FORÇAS DE USINAGEM EM TORNEAMENTO COM FERRAMENTA DE METAL DURO**. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2002.

BONDUELLE, Arnaud.; **Usinagem, material de corte e desgaste do gume**. Curso de Engenharia Industrial Madeireira e Programa de Pós-graduação em Eng. Florestal, UFPR, Curitiba, 2000.

BORGES, Joel Brasil. **USINAGEM BÁSICA**. Araranguá: CEFET-SC, 2009. 83 p.

CARPINETTI, Luiz C. R. et al. **RUGOSIDADE SUPERFICIAL: Conceitos e Princípios de Medição**. São Carlos: Eesc-usp, 1996. 51 p.

COSTA, Éder Silva. **PROCESSOS DE USINAGEM**. Divinópolis: CEFET-MG, 2006. 85 p.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **TECNOLOGIA DA USINAGEM DOS MATERIAIS**. 5. ed. São Paulo: Artliber, 2006. 255 p.

FARIAS, Marzely Gorges. As questões ambientais e o processo de fresamento em alta velocidade de madeiras de floresta plantada eucalyptus grandis e eucalyptus dunnii. 2000. Tese (Doutorado) - Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Blucher, 1982. 751 p.

FLIR. **Flir**. Disponível em: <<http://www.flir.com/br/>>. Acesso em: 27 maio 2012.

COSTA, Éder Silva. **PROCESSOS DE USINAGEM**. Divinópolis: CEFET-MG, 2006. 85 p.

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

INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS FLORESTAIS. \**Corymbia citriodora* Hill & Johnson (*Eucalyptus citriodora* Hook). \*Disponível em: <[http://www.dermatologia.net/novo/base/estetica/implante\\_fibroblastos.shtml](http://www.dermatologia.net/novo/base/estetica/implante_fibroblastos.shtml)>. Acesso em: 16 abr. 2012.

LUCAS FILHO, Fernando Cardoso. **ANÁLISE DA USINAGEM DA MADEIRA VISANDO A MELHORIA DE PROCESSOS EM INDÚSTRIAS DE MÓVEIS**. 2004. 176 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Blucher, 2009. 371 p.

NOVASKI, Olívio. **INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO MECÂNICA**. São Paulo: Blucher, 1994. 119 p.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **ESTRUTURAS DE MADEIRA**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc Editora, 2003. 241 p.

SANDVIK. **Sandvik**. Disponível em: <<http://www.sandvik.com/>>. Acesso em: 27 maio 2012.

SILVA, J.; MATTOS, J; MUNIZ, G.B. Influência das características anatômicas da madeira na sua usinagem. XV Congresso florestal brasileiro. Belo Horizonte, 1999. Anais. p-232-239. 1999.

SOUZA, André João de. **Processos de Fabricação por Usinagem**. Rio Grande do Sul: 2011. 87 p. (1).

SOUZA, André João de. **Processos de Fabricação por Usinagem**. Rio Grande do Sul: 2011. 87 p. (2).

SOUZA, Alexandre Jorge Duarte De. **PROPOSIÇÃO DE UM NOVO MÉTODO DE MEDIÇÃO DO DESGASTE EM FERRAMENTAS DE CORTE EMPREGADAS EM OPERAÇÕES DE FRESAMENTO DA MADEIRA**. 2009. 111 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Unesp Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2009.