

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Márcia Regina
da Silva Rios E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 10/07/02

O. Novaski

ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

**Estudo do Comportamento do Fluido
Sintético na Furação de Aço Inoxidável.**

Autora: Márcia Regina da Silva Rios

Orientador: Prof. Dr. Eng. Olívio Novaski

07/2002

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MANUFATURA**

**Estudo do Comportamento do Fluido
Sintético na Furação de Aço Inoxidável.**

Autora: Márcia Regina da Silva Rios

Orientador: Prof. Dr. Eng. Olívio Novaski

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Engenharia de Manufatura

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica

Campinas, 2002

S.P. - Brasil

UNIDADE Be
Nº CHAMADA TI/UNICAMP
R479e
V _____ EX _____
TOMBO BCI 51573
PROC 16.837/00
C _____ D^x _____
PREÇO R\$ 11,00
DATA 15/11/02
Nº CPD _____

CM00176473-8

BIB ID 267690

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

R479e Rios, Márcia Regina da Silva
Estudo do comportamento do fluido sintético na
furação de aço inoxidável / Márcia Regina da Silva Rios. -
-Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Olívio Novaski.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Refrigeração. 2. Aço inoxidável austenítico. 3.
Usinagem. 4. Processos de fabricação. 5. Brocas
(Ferramenta). 6. Fluidos de corte. 7. Lubrificação e
lubrificantes. I. Novaski, Olívio. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Mecânica. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

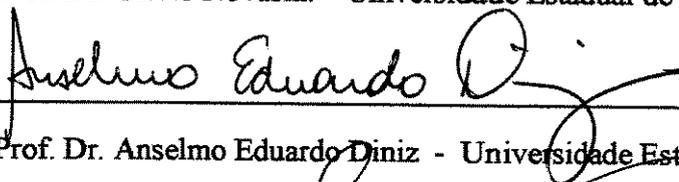
**Estudo do Comportamento do Fluido
Sintético na Furação de Aço Inoxidável**

Autora: Márcia R. S. Rios

Orientador: Prof. Dr. Eng. Olívio Novaski



Prof. Dr. Olívio Novaski. – Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Anselmo Eduardo Diniz - Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi – Universidade Estadual de São Paulo

Campinas, 10 de julho de 2002

05654950

Dedicatória:

Dedico este trabalho aos meus pais, Moisés e Luiza, exemplos de coragem e perseverança e a minha família, Fábio, Caio e Geórgia que me apoiaram neste projeto.

Agradecimentos:

Este trabalho não poderia ser realizado sem a ajuda de diversas pessoas as quais expresso o meu mais sincero agradecimento:

A minha família que me apoiou na realização deste projeto abdicando de muitas horas de convivência.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eng. Olívio Novaski, pela atenção, incentivo e apoio constante que sempre me foram dedicado, facilitando meu trabalho.

Às empresas Sandvik, Villares e Agena pelo apoio financeiro e técnico a esta pesquisa.

Aos colegas Lucilaine Lourençato e Vinícius Ambrogi que foram essenciais na realização e finalização do levantamento de dados experimentais.

Ao Laboratório de Usinagem e Laboratório de Metrologia.

A todos os professores e colegas do departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

“Há muitas maravilhas neste mundo, mas não há nenhuma maior que o homem....

Ele é o ser que atormenta a deusa augusta entre todas, a Terra,

Mas, mestre assim de um saber cujos recursos engenhosos superam toda esperança,

Pode, em seguida, escolher a vida do Mal como a do Bem“

Coro da Antígona - Sófocles

Resumo:

Rios, Márcia R. S., Estudo do Comportamento do Fluido Sintético na Furação de Aço Inoxidável, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001, 95 p. Dissertação de Mestrado.

Este trabalho teve por objetivo a análise comparativa do desempenho de dois tipos diferentes de lubro-refrigerantes, sintético e emulsionável, na furação do aço inoxidável ABNT 304. Para tanto foram utilizadas brocas de metal duro com cobertura de nitreto de titânio e refrigeração interna. Durante os ensaios, foram determinados os esforços de corte gerados no processo de furação, o desgaste da broca e a qualidade dos furos obtidos. A comparação da performance dos dois meios é importante devido à crescente questão ambiental, onde as restrições ao descarte das emulsões são cada vez mais rigorosas. Os fluidos sintéticos, por apresentarem maior estabilidade microbiológica, proporcionam um aumento significativo no tempo de durabilidade do sistema lubrorefrigerante, evitando assim, a geração de resíduos líquidos. O desgaste V_B da broca, utilizada com o sistema sintético, foi acentuadamente menor que o obtido no outro sistema, levando à conclusão que um maior número de furos pode ser feito com a mesma ferramenta. Este resultado é muito importante quando se analisam os tempos improdutivos em um sistema de manufatura e estes são gerados por trocas sucessivas de ferramentas. Por outro lado, o sistema sintético é um meio de lubrificação com mínimo impacto ambiental.

Palavras Chaves

- furação; refrigeração; aço-inoxidável; usinagem.

Abstract

Rios, Márcia R. S., *Comportamental Study of Synthetic Fluid for Austenitic Stainless Steel Drilling*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2002, 95 p. Dissertação de Mestrado .

The goal of this work is the analysis comparative between two different types of cutting fluids, synthetic and emulsion, in Austenitic Stainless steel 304 drilling. For this work, cemented carbide metal oil drills with Titanium Nitride coating and internal lubrication were used. Cutting forces in the drilling process, the drill wearing and the holes quality level were determined.

The performance parallels of these two ways of lubrication is very important to the environmental care, where the governmental regulation and emulsion discard restrictions are more and more stronger. The Synthetic Fluids have more microbiological stability, so they improve the lifetime of a lubricant system, avoiding liquid sewage.

The V_B drill wear which worked in the synthetic system was lower than that one which works in the half-synthetic system, driving us to conclude that a higher number of holes can be manufactured with the same tool. This result is very important when it is analysed the lost of time in a manufacture process by tools changing. So, the result shows that is possible to use a synthetic lubricant and be environmental friend.

Key words

- drilling, refrigeration, stainless steel, machining.

Índice

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	x
Nomenclatura	xv
1. Introdução	1
2. Revisão da Literatura	5
3. Modelagem teórica	33
4. Análise Experimental	53
5. Resultados e Discussões	63
6. Conclusões e Sugestões para próximos trabalhos	73
7. Referências Bibliográficas	77

Lista de Figuras

1. Representação esquemática de uma emulsão.	8
2. Representação esquemática de uma micro-emulsão.	11
3. Representação esquemática de uma solução verdadeira.	12
4. Condutividade Térmica de Aços Inoxidáveis.	25
5. Vistas lateral e frontal de uma broca helicoidal.	30
6. Brocas helicoidais com e sem revestimento.	32
7. Vista Superior dos Perfis de Teste.	34
8. Vista Lateral dos Perfis de Teste.	34
9. Corpo de prova cilíndrico após operação de furação e a respectiva seqüência de Obtenção dos furos.	35
10. Centro de Usinagem vertical, modelo SV-40 Mori Seiki com comando Fanuc.	36
11. Posicionamento dos corpos de prova, placa e cilindro, na máquina operatriz e do dinamômetro.	37
12. Aparato para determinação do desgaste V_B	39
13. Rugosímetro Perthen, modelo universal S4Bd e posicionamento do corpo de prova para obtenção da rugosidade.	40
14. Coluna tridimensional utilizada para a determinação da variação do diâmetro, da circularidade e da cilindridade dos furos.	41
15. Detalhe do posicionamento do corpo de prova e do suporte na tridimensional para a determinação da variação do diâmetro, circularidade e cilindridade.	42

16. Detalhe do suporte e do corpo de prova utilizado para a determinação da variação do diâmetro, circularidade e cilindridade na tridimensional.	42
17. Geometria da ponta e canais helicoidais da broca.	44
18. Refratômetro utilizado para a determinação da concentração dos fluidos de corte.	47
19. Calibração do zero no refratômetro manual.	48
20. Contaminação da Emulsão por bactérias e fungos.	51
21. Resultado para a potência de corte em função do comprimento furado nos dois sistemas de lubrefrigeração.	55
22. Resultados obtidos para a força de avanço em função do comprimento furado para os dois tipos de fluido.	56
23. Resultados obtidos para o momento torsor em função do comprimento furado para os dois tipos de fluido.	57
24. Resultados obtidos para a circularidade dos furos em função do comprimento furado nos dois sistemas de lubrefrigeração.	58
25. Resultados obtidos para a cilindridade dos furos em função do comprimento furado para os dois tipos de fluido	59
26. Resultados obtidos para a variação do diâmetro dos furos em função do comprimento furado nos dois sistemas de lubrefrigeração.	60
27. Resultados obtidos para a rugosidade dos furos obtidos em função do comprimento furado nos dois sistemas de lubrefrigeração.	61
28. Evolução do desgaste V_B em função do comprimento furado para os dois fluidos utilizados.	62
29. Representação do cálculo da Rugosidade média (R_a).	70

Lista de Tabelas

1. Características dos fluidos de corte.	16
2. Disposição e Geração de Efluentes em diferentes fluidos de usinagem.	21
3. Classificação dos aços inoxidáveis.	24
4. Coeficiente de Dilatação Térmica entre 20 e 200 °C para Famílias de Aço.	26
5. Especificação da Broca, segundo dados do fabricante.	43
6. Quadro Geral das Composições Químicas dos Aços Inoxidáveis.	45
7. Fator de correção para cada tipo de fluido de corte, determinado em laboratório.	49
8. Participação porcentual de três grandezas na força de avanço.	66

Nomenclatura

Abreviaturas

Ø - Diâmetro

μ - Micron

(μm/m °C) – Coeficiente de dilatação térmica.

° - Graus (ângulo)

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AISI – *American Iron and Steel Institute* – Instituto Americano do Ferro e Aço

ASM - International Handbook Committ

° C - Graus Celsius (temperatura)

CaCO₃ - Carbonato de Cálcio

CAL – Função calibração do phmetro

cm³ - Centímetro cúbico

CNC – *Computer Numerical Control* - Comando numérico por computador

Cr – Cromo

CVD - *Chemical Vapor Deposition* - Deposição Química a Vapor

DIN –Conjunto de Normas - Alemanha

D – Diâmetro

F_{fa} – Força de avanço devido ao corte pelas arestas principais de corte da broca
 F_{fb} - Força de avanço devido ao corte e ao esmagamento do material pela aresta transversal de corte da broca.
 F_{fc} - Força de avanço devido ao atrito das guias com a parede do furo.
 F_{total} - Força total de avanço
 g / cm^3 - Densidade
 g – Gramas
 H_2S – Ácido Sulfídrico
ISO – International Standard Organization
IT – Tolerância
kW – Quilowatt.
 L_f - Comprimento furado
 $L / mês$ – Litros por mês
 m^3 - Metros cúbicos
 m – Metro
 ml - Mililitros.
 mm – Milímetro
máx. – Máximo
min. – Minutos
 ml – Mililitros
 M_t – Momento Torsor.
 Ni - Níquel
N7 – Classe de rugosidade
pH - Concentração Hidrogeniônica.
ppm - Partes por milhão.
 R_a – Rugosidade média.
s/ - Sem
 TiN – Nitreto de Titânio
 V_B – Desgaste de flanco.
 V_c – Velocidade de corte

Capítulo 1

Introdução

Atualmente, ao se abordar os sistemas de manufatura, o principal foco é o aumento da produtividade aliada à redução de custos. Nas operações de usinagem, a utilização de fluidos de corte adequados à operação é uma alternativa de incremento da produtividade que deve ser incluída nas análises de projeto. Na verdade, a escolha do fluido de corte deve ser baseada na composição química e nas propriedades adequadas para satisfazer o processo de corte em avaliação. A aplicação do fluido de corte deve acontecer de forma que o mesmo chegue o mais próximo possível do plano de cisalhamento primário e das regiões de atrito cavaco – ferramenta e ferramenta – peça de modo que possa exercer sua função apropriadamente.

F.W. Taylor em 1890 constatou que a refrigeração, somente usando água, trazia vantagens ao corte, mas, desvantagens em relação à oxidação da peça e da máquina. Com o advento da indústria petrolífera, os óleos de base mineral foram e ainda são amplamente utilizados, pois têm boa capacidade lubrificante, oferecendo maiores recursos para remoção de calor devido ao atrito entre os conjuntos cavaco/ferramenta e ferramenta/peça oferecendo assim melhores acabamentos superficiais.

Os sistemas água/óleo, onde uma porcentagem de até 20% de óleo é emulsionado em água adicionados de aditivos de extrema pressão ainda são amplamente aplicados, oferecem a vantagem da refrigeração proporcionada pela água e a lubrificação imprimida pelos derivados de petróleo (óleos minerais de base naftênica e parafínicos).

Problemas econômicos e ecológicos direcionaram grande concentração de esforços na busca de produtos que atendam as atuais exigências. Novas matérias primas, novos processos de fabricação e controles cada vez mais precisos permitiram que estes parâmetros relativos ao meio ambiente e à saúde do operador sejam atingidos.

Devido às grandes pressões exercidas pelo governo, agência de proteção ambiental e consumidores, os fabricantes de fluidos para usinagem vêm realizando desenvolvimentos e conseguindo avanços significativos na elaboração de produtos cada vez menos insalubres ao operador de máquinas-ferramentas e menos prejudiciais ao meio ambiente. As atuais formulações dos fluidos de corte, incluindo aqui as sintéticas de última geração, apresentam melhores propriedades refrigerantes, melhores propriedades lubrificantes, proporcionam reduzidos riscos ao operador e considerável aumento da durabilidade dos óleos nos tanques, minimizando problemas de descarte e de manutenção dos mesmos. Segundo Mang (2000), estes produtos baseados nas novas formulações são boas opções para as operações que necessitam de um meio lubrorefrigerante para serem realizadas com sucesso, atualmente, 80% dos casos. Inclusas nesta categoria, as operações que resultam em tolerâncias muito apertadas e aquelas que são realizadas em materiais dúcteis com grande tendência de formação da aresta postiça de corte.

Dos processos de usinagem, a furação é o que acontece com maior frequência nos sistemas de manufatura. Dificilmente uma peça, de qualquer tipo de indústria, não apresenta pelo menos um furo e, somente uma pequena quantidade destas peças, já vem com um furo pronto do processo de obtenção da peça bruta (fundição, forjamento, e etc).

O processo de furação é crítico já que dos processos de usinagem, é o que envolve maior necessidade de refrigeração e auxílio à extração do cavaco. A falta de assistência na retirada do cavaco pode em alguns casos, causar o entupimento das superfícies de saída, principalmente em materiais maleáveis, resultando em um defeito generalizado na superfície gerada.

Em alguns casos, tal como o aqui apresentado, a utilização de brocas helicoidais de metal duro revestidas com Nitreto de Titânio e com refrigeração interna permite a obtenção de furos mais precisos, sem a necessidade de furos de centro e/ou pré-furos (Diniz, Marcondes e Coppini, 1999).

Finalmente, o emprego dos aços inoxidáveis tem crescido progressivamente nos últimos anos, particularmente do aço inoxidável ABNT 304 que apresenta um interesse muito grande principalmente em função da grande demanda por materiais que dispensam manutenção e que favorecem ao meio ambiente (Chandrasekaram & Johansson, 1994).

Em geral, os aços inoxidáveis apresentam boas propriedades de resistência mecânica e excelente resistência á corrosão, mas, apresentam baixa usinabilidade, com forte tendência à aderência nas superfícies da ferramenta durante o corte, podendo provocar, em alguns casos, danos à ferramenta com a quebra do cavaco aderido (Trent, 1989).

Em função do exposto, desenvolveu-se este trabalho, no processo de furação do aço inoxidável ABNT 304, utilizando-se brocas de metal duro, com canais internos para a passagem do lubrorefrigerante.

Desta forma, foram estudados os resultados obtidos em duas situações de lubrorefrigeração: sistema sintético e sistema emulsionável. Os objetivos foram, em ambos os sistemas:

- Analisar o comportamento do desgaste das brocas;
- Analisar os esforços de corte;
- Analisar a qualidade superficial dos furos obtidos;
- Analisar a qualidade geométrica dos furos obtidos.

Para o alcance dos objetivos propostos, o trabalho foi organizado da seguinte maneira:

Capítulo I : Introdução;

Capítulo II : Revisão da Literatura;

Capítulo III : Modelagem Teórica;

Capítulo VI : Análise Experimental;

Capítulo V : Resultado e Discussões;

Capítulo VI : Conclusões e Sugestões para os Próximos Trabalhos.

Capítulo 2

Revisão da Literatura:

2.1 Fluidos de Corte: classificação, funções, seleção, manutenção e descarte

2.1.1 Classificação dos fluidos de corte

Os fluidos de corte apresentam características específicas que variam de acordo com sua formulação básica. Cada tipo apresenta vantagens e limitações típicas, que nem sempre, são facilmente reconhecidas devido à grande gama de possibilidades de variações químicas. Segundo Runge & Duarte (1990) e ASM (1991), os fluidos de corte podem ser agrupados em quatro tipos básicos:

- Óleo de corte (integral ou aditivado)
- Fluidos de corte solúveis em água
 - Emulsionáveis convencionais
 - Emulsionáveis semi-sintéticos
 - Soluções verdadeiras (fluidos sintéticos)
- Gases
- Pastas e lubrificantes sólidos

Na classificação de **fluido de corte integral ou aditivado** estão inclusos todos os materiais que possuem características de formar película oleosas, lubrificante e aderente. Podem ser de base mineral (óleos de petróleo de base parafínica ou naftênica) vegetais (óleos de mamona, arroz, colza etc) e os sintéticos (esters, diésteres, solventes sintéticos ,etc), adicionados ou não de materiais graxos (gorduras animal ou vegetal).

A composição de um fluido integral ou óleo de corte é formado basicamente por:

- Veículo (óleo): cuja viscosidade é a propriedade química que imprimirá a característica do fluido ser também refrigerante. Baixas viscosidades do veículo conferem poder de refrigeração ao óleo de corte.

- Aditivos: aqui estão inclusos os aditivos de:

- Extrema pressão: películas aderidas quimicamente que diminuem os esforços de corte (base Fósforo e com algumas restrições, o Boro)
- Os melhoradores de índice de viscosidade: fluidos integrais minerais tendem a variar bruscamente a viscosidade em função da temperatura, um fluido com alto índice de viscosidade sofre menor influência da variação da temperatura.
- Antiespumantes: quebram as bolhas de ar formadas durante a operação de usinagem que não são desejáveis no processo, pois, dificultam ainda mais a troca de calor (Moura & Carreteiro, 1987)
- Anticorrosivos: impedem a ação corrosiva do ambiente sobre a máquina e a peça usinada
- Antioxidantes: bloqueiam a ação oxidante causada pelo oxigênio no fluido integral, cujo efeito é a perda das características lubrificantes e a mudança do caracter neutro para ácido (corrosivo).

Os óleos integrais são extremamente aderentes. Esta característica torna muito difíceis os processos de desengraxe das peças usinadas, exigindo soluções, que na maioria das vezes, aumentam os custos de fabricação.

Apresentam ótima lubrificação, boa proteção anticorrosiva em relação à peça e à Máquina-ferramenta, mas são muito deficientes na refrigeração quando comparados com os fluidos de corte solúveis em água (Pilletteri,1981). Durante o processo, formam névoa devido ao aquecimento do mesmo. Esta névoa é extremamente prejudicial à saúde do operador, apesar de atualmente serem formulados com óleos parafínicos que apresentam baixos teores dos componentes químicos benzeno, tolueno e xileno. Estes já são suficientes para caracterizá-los como insalubres, pois podem causar câncer ou dermatites severas (Webster, 1995).

Os fluidos de corte solúveis em água transformam-se em misturas quando o produto na forma concentrada é adicionado à água, formando uma solução estável. Dependendo da quantidade de óleo mineral na formulação básica podem formar emulsões (quantidade superior a 60%), micro-emulsões (quantidade de óleo inferior a 10%), ou soluções verdadeiras (isentas de óleo).

As **emulsões**, também chamadas de óleos solúveis, fluidos solúveis em água e fluidos de corte emulsionáveis, são composições de óleo em água, conforme mostrado esquematicamente na Figura 1. Óleo seja de qualquer origem, em sua forma primária é incompatível com água e não é possível que se encontre mistura em qualquer proporção, pois têm naturezas polares diferentes. Enquanto o óleo é uma substância apolar, a água é fortemente polar. Sendo assim, agentes emulsionantes ou também chamados de emulgadores possibilitam que pequenas gotas de óleo fiquem uniformemente dispersas em água, formando emulsões estáveis de óleo em água.

Os emulgadores são em sua grande maioria, compostos orgânicos que permitem o balanço hidrofílico e lipofílico (água/óleo), ou álcoois graxos de cadeias carbônicas curtas (com 7 a 10 carbonos), que reduzem a tensão superficial da água e facilitam a dispersão do óleo.

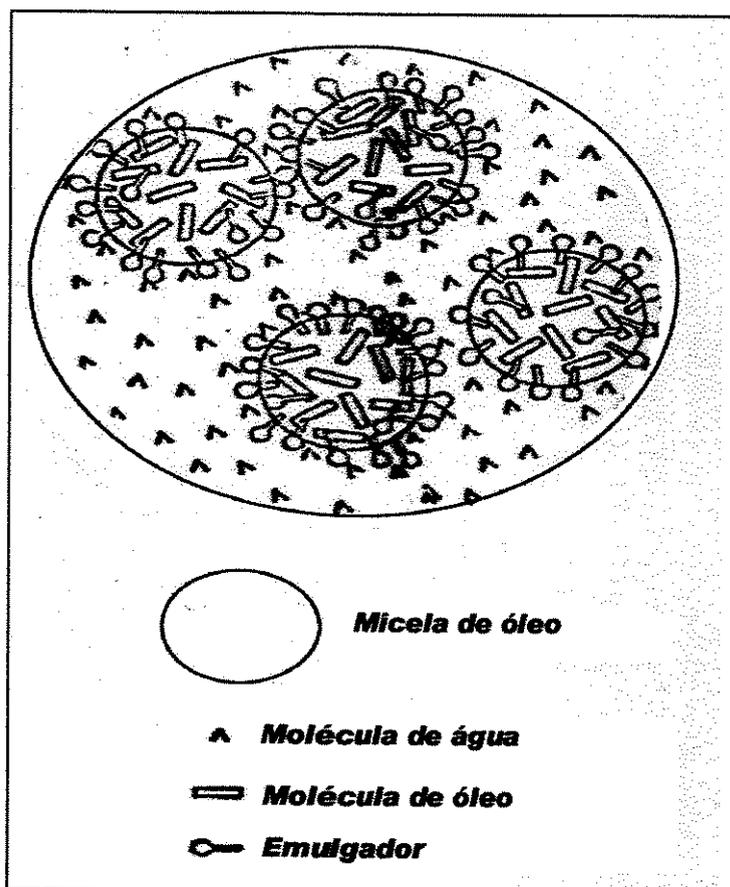


Figura 1. Representação esquemática de uma emulsão (Rungue & Duarte , 1990)

São identificadas como emulsões de óleo em água, pois esta ordem é importante ao se misturar o fluido de usinagem com a água durante a preparação do tanque. Se esta ordem for invertida, ou seja, adiciona-se água sobre o óleo, a emulsão não será estável, e, a fase oleosa se separa da fase aquosa.

A quantidade de óleo e aditivos nestas emulsões, que têm o aspecto leitoso, varia de 1 a 20%. Emulsões mais diluídas (1% de ativos) são utilizadas para reduzir as desvantagens da utilização de um sistema puramente baseado em água (ação corrosiva e baixa umectação).

Emulsões com concentração variando de 3 a 10% são utilizadas em operações onde a refrigeração é primordial e a lubrificação é secundária (torneamento, fresamento, retificação, serramento, etc) e em operações onde a retirada de material é baixa.

Emulsões com aditivos de extrema pressão aplicadas em altas concentrações são indicadas para operações onde acontece a formação da aresta postiça de corte ou são especificados grandes avanços e profundidades de usinagem. Nestes casos, o efeito lubrificante é extremamente importante, e as emulsões com alta quantidade de aditivos podem substituir os óleos integrais. Por apresentarem boas características de molhabilidade, o arraste da emulsão pelo cavaco é elevado, aumentando a reposição do óleo, portanto, com conseqüente aumento de custos.

As emulsões apresentam um sério problema de estabilidade biológica, gerando grande volume de descarte e, conseqüentemente, alto custo de tratamento final da mesma. Os agentes emulgadores são rica fonte de alimento para bactérias do tipo aeróbicas (crescem e se reproduzem em presença de oxigênio), anaeróbicas (crescem e se reproduzem na ausência de oxigênio) e fungos. A presença destes microorganismos, em grandes quantidades, provoca a degradação das emulsões, tomando o local de trabalho extremamente desagradável devido ao odor exalado pela emulsão ao recircular pela máquina. Este odor que é proveniente do metabolismo das bactérias é basicamente gás sulfídrico (H_2S), odor característico de “ovo podre” (Bennett, 1972).

O crescimento acelerado de fungos apresenta-se como placas de cor branca ou cinza, podendo levar ao colapso do sistema de circulação da máquina, pois provocam entupimento.

Estes fenômenos são controlados por contínuo monitoramento das emulsões (contagem de bactéria e fungos) e adições periódicas de bactericidas e fungicidas. O inconveniente destes procedimentos são o custo elevado e a grande probabilidade do operador apresentar reação alérgica aos aditivos de controle microbiológico.

A estabilidade das emulsões é afetada pela contaminação por óleo hidráulico, óleo lubrificante ou óleos protetivos anticorrosivos. Estes elementos ao entrarem em contato com a emulsão reagem com os emulgadores, mudando o balanço hirofilico/lipofilico e levando ao total desequilíbrio, gerando alto desgaste da ferramenta e baixa qualidade no acabamento.

As **micro-emulsões** são dispersões de óleo em água onde a quantidade de óleo é bem inferior que nas emulsões. Formam emulsões transparentes, que facilitam a visualização das operações. São também conhecidos como semi-sintéticos, pois além de possuírem pouca quantidade de óleo na formulação básica, também são constituídos por água, conforme esquematizado na Figura 2.

Grande parte dos problemas enfrentados pelas emulsões aparece em pequena escala nas micro-emulsões. Como a quantidade de óleo é pequena, é proporcionalmente reduzida a quantidade de tenso-ativos, portanto menor quantidade de alimento para a reprodução e crescimento de microorganismos. As micro-emulsões são mais estáveis com menor tendência ao apodrecimento.

Os aditivos de extrema pressão permitem que mesmo com baixa quantidade de óleo, os fluidos semi-sintéticos tenham boa característica de lubrificação.

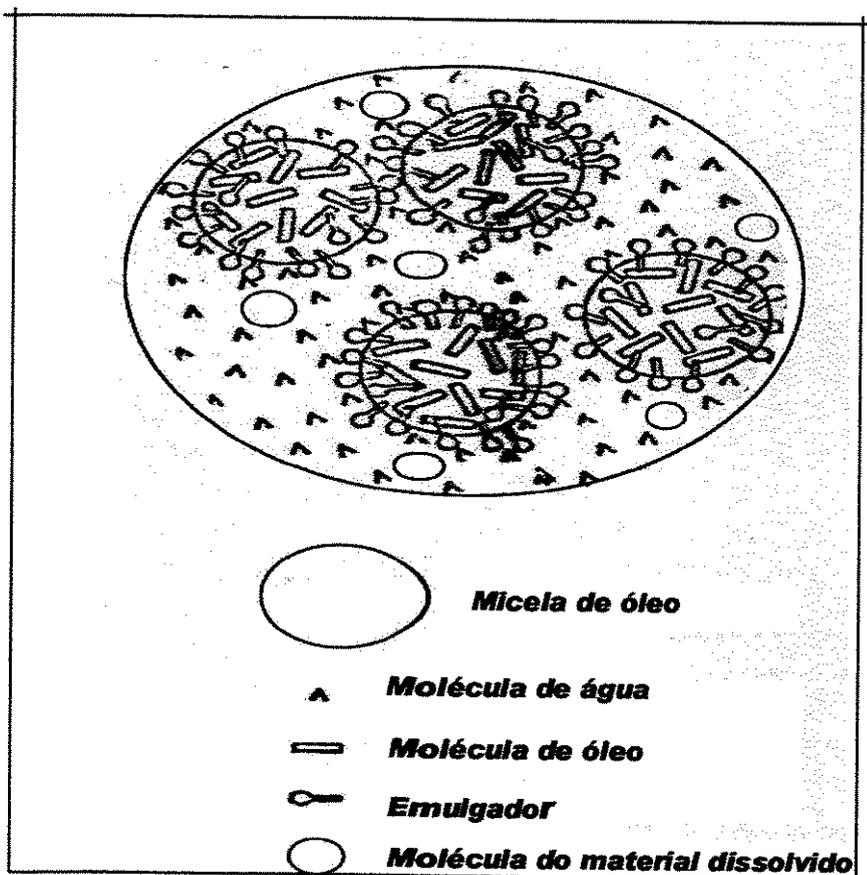


Figura 2. Representação esquemática de uma micro-emulsão (Runge & Duarte, 1990).

Quanto ao problema de contaminação pelo sistema de lubrificação da máquina, as micro-emulsões apresentam as mesmas desvantagens. Os óleos semi-sintéticos combinam algumas propriedades dos fluidos sintéticos e dos óleos emulsionáveis. As principais desvantagens são a lubrificação insuficiente em determinadas operações, bem como a formação de compostos insolúveis, quando a água utilizada no preparo da emulsão semi-sintética apresentar dureza elevada (alta concentração de CaCO_3). Possuem também uma melhor proteção anticorrosiva que as emulsões.

Também conhecidos como fluidos químicos, ou soluções verdadeiras, os **fluidos sintéticos** são totalmente isentos de óleo de qualquer origem (animal, vegetal ou mineral), conforme esquematizado na Figura 3.

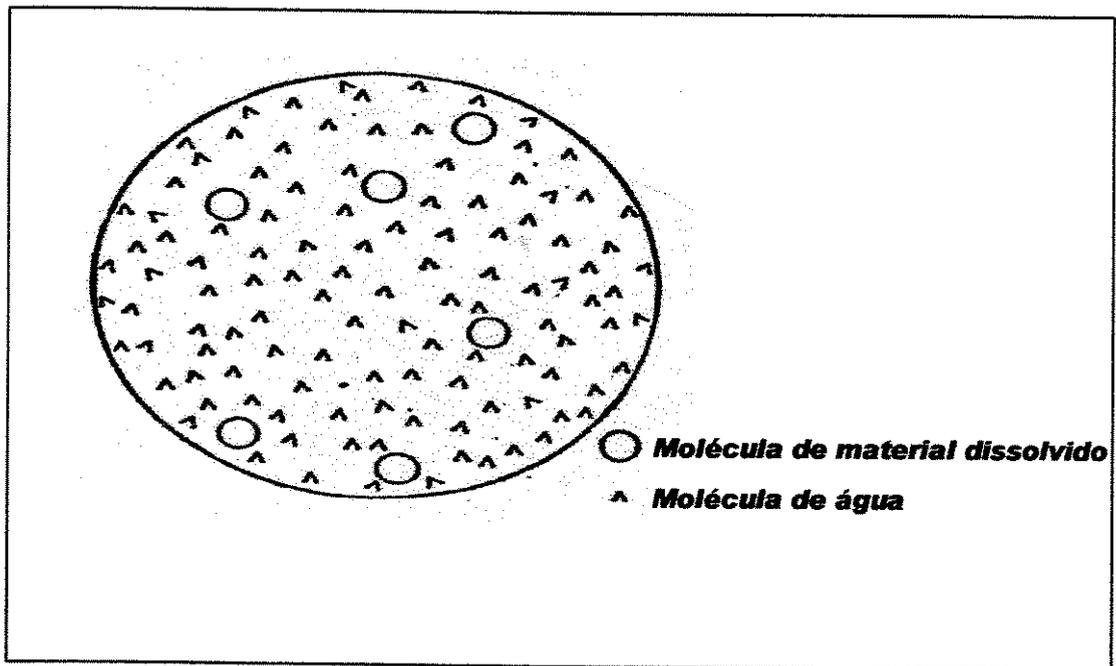


Figura 3-Representação esquemática de uma solução verdadeira (Runge & Duarte, 1990).

Ao contrário das emulsões, estes fluidos são miscíveis com a água, formando soluções em vez de emulsões, ou seja, uma vez adicionados à água, é impossível separá-los (nas emulsões a fase água e óleo são obtidas por quebra ácida).

Os fluidos sintéticos não oferecem condições para o crescimento de microorganismos, portanto têm indiscutível estabilidade biológica. Uma solução sintética não permite a incorporação dos óleos lubrificantes que contaminam o tanque do fluido, mas tem a qualidade de promover a flotação de todo o material oleoso que tenha vazado do sistema de lubrificação da máquina.

O veículo dos fluidos sintéticos é a água, portanto são extremamente refrigerantes, mas atualmente com as novas formulações, estes produtos também podem ser aplicados em operações onde a lubrificação é um fator preponderante. Aditivos de extrema pressão são adicionados aos fluidos sintéticos para que tenham o carácter lubrificante.

Testes demonstraram que, em comparação com as emulsões, as ferramentas têm sua vida duplicada e até mesmo triplicada quando se utiliza um sistema de refrigeração sintético.

O descarte do fluido sintético é muito esporádico, portanto os tempos de parada de máquina para limpeza e troca do fluido de usinagem são reduzidos em até 80%. A incidência de casos de dermatites em usuários de fluidos sintéticos para usinagem é extremamente baixa, reduzindo-se ainda mais devido a não ser necessária a aditivação freqüente com agentes microbicidas, principal causador de problemas de pele nos operadores das máquinas-ferramenta.

Este tipo de fluido mantém áreas de trabalho e máquinas sempre limpos e permite uma rápida decantação dos cavacos mais finos. Por apresentar baixa tensão superficial, tem a qualidade de chegar mais rápido até a área de corte e com maior poder de penetração, e ao atingir altas temperaturas, evapora sem deixar nenhum tipo de resíduo na área usinada.

Os fluidos sintéticos são facilmente removíveis das peças, não exigindo nenhum tipo de sistema desengraxante mais complexo. Muitas vezes são removidos com um simples jato de água quente.

As empresas que adotam a prática de fundir os cavacos resultantes do processo fabril, ao utilizarem os fluidos do tipo sintético, têm 100% de eficiência no aproveitamento do material fundido, pois estes fluidos ao serem submetidos a altas temperaturas evaporam completamente sem apresentarem resíduos que causem perdas no processo de fundição. Portanto, não interferem nos sistemas de reciclagem de cavacos.

Entre os gases, o ar é o fluido mais comum. Alguns gases, como o argônio, hélio e nitrogênio, são utilizados, em alguns casos para prevenir a oxidação das peças e dos cavacos.

Dentre as pastas e lubrificantes sólidos, existem aqueles que são aplicados manualmente sobre a peça e na ferramenta em operações especiais (mandrilamento e retificação).

2.1.2 – Função de um fluido de corte

As funções positivas dos fluidos de corte na usinagem são:

- A lubrificação com a função de redução da região de aderência, no plano de cisalhamento secundário;
- A refrigeração com a função de diminuir o calor gerado no plano de cisalhamento primário;
- O auxílio na expulsão do cavaco gerado na operação de usinagem
- A proteção da máquina e da peça contra a corrosão atmosférica.

A ausência destas funções pode acarretar aumento da abrasão e do desgaste por adesão na ferramenta com conseqüente redução da vida útil da mesma. A não ocorrência do efeito de refrigeração aumenta a transferência de calor para o conjunto ferramenta/peça e máquina. O efeito da redução da refrigeração tem um impacto adicional no comportamento térmico da máquina, e conseqüentemente, na sua precisão. Em processos fechados, tal como acontece na furação, a falta do auxílio do fluido de corte na expulsão do cavaco pode ocasionar danos a superfície já usinada e até levar a quebra da ferramenta.

O efeito lubrificante é fator relevante quando a operação de usinagem ocorre em baixas velocidades de corte, a fim de reduzir o atrito e evitar a formação da aresta postiça de corte. Altas velocidades de corte exigem fluidos com maior penetração até a interface e alto efeito refrigerante.

Qualquer que seja a forma de penetração, o fluido de corte, ao atingir a interface, deve formar um filme com características lubrificantes, cuja resistência ao cisalhamento seja menor que a resistência do metal.

Não está claramente estabelecido como o fluido de corte atinge a interface, nem até onde pode alcançar a fim de atuar na redução da zona de aderência e minimizar a ação do atrito. De qualquer forma, o calor gerado pela deformação do cavaco e pelo atrito dos conjuntos ferramenta/peça e cavaco/ferramenta é reduzido pela utilização adequada do fluido de corte, que também ocasiona a diminuição dos esforços e potência de corte.

Segundo Webster (1995), as propriedades lubrificantes e refrigerantes são as que mais contribuem para uma boa refrigeração. Entretanto, devem-se considerar outras propriedades, apresentadas na Tabela 1, antes da escolha de um fluido a ser utilizado. Desta Tabela, podemos observar que os fluidos sintéticos ocupam lugar de destaque, adquirindo pontuação máxima quando comparados com os outros três tipos de lubro-refrigerantes.

Tabela 1. Características dos fluidos de corte (1- pior ; 4-melhor) (Webster, 1995)

Característica/ Tipo de óleo	Fluidos Sintéticos	Fluidos Semi-Sintéticos	Emulsões	Óleos de Corte
Remoção de Calor	4	3	2	1
Lubrificação	1	2	3	4
Manutenção	3	2	1	4
Facilidade para Filtração	4	3	2	1
Aspectos Ambientais	4	3	2	1
Custos	4	3	2	1
Aumento de Vida da Ferramenta	4	2	3	1

2.1.3 Seleção do Fluido de Corte

Pelo menos 3 fatores devem ser levados em consideração quando da escolha do fluido de corte mais adequado:

- Material da peça:

O aço e suas variações, incluindo aqui os do tipo inoxidável, concentram o maior volume de material usado industrialmente. Atualmente a tendência é a utilização de sintéticos com ou sem aditivos de extrema pressão (onde a necessidade da aditivação é decorrente do tipo de operação) ou no máximo um fluido semi-sintético. Estas escolhas são norteadas pela avaliação de custo/benefício, onde os fluidos sintéticos apresentam melhores desempenhos.

Ferro fundido cinzento, que produz cavacos de ruptura, é normalmente usinado sem lubrificação ou com aplicação de semi-sintéticos para auxiliar a remoção dos cavacos. O ferro fundido branco exige aditivação com extrema pressão para que a ferramenta tenha maior vida útil.

Os metais não-ferrosos podem ser usinados a seco no caso de latão, bronze e cobre ou com fluidos semi-sintéticos com aditivação correta para proteção contra manchamento. Alumínio, material muito dúctil, exige a utilização de fluido com boas características lubrificantes, portanto, as emulsões e as micro-emulsões são indicadas. Exceção é feita à liga alumínio-silício que tem apresentado ótimos resultados em sistemas de usinagem que utilizam fluidos sintéticos aditivados ou não com agentes de extrema pressão.

- Material de Ferramenta

A escolha de um material de ferramenta para uma dada aplicação está ligada às temperaturas de corte e às tensões que provavelmente serão encontradas. Sendo assim, as ferramentas de aço rápido e metal duro, podem ser utilizados com qualquer tipo de óleo, desde que o mesmo apresente propriedades anticorrosivas (aço rápido oxida com facilidade).

Variações bruscas de temperatura são prejudiciais às ferramentas de composição cerâmica à base de óxidos, portanto os fluidos de usinagem de qualquer composição não são indicados. As ferramentas com alta resistência ao calor (cerâmicas, com cobertura de óxido de alumínio, nitreto cúbico de boro e diamante policristalino) a princípio não precisam de refrigeração, mas esta é utilizada para evitar danos ao dimensional da peça.

- Processo de usinagem.

A severidade da operação de usinagem e as condições da máquina é que vão nortear a escolha do melhor tipo de fluido de usinagem. Fluidos com alta carga de agentes lubrificantes são indicados para operações severas (brochamento, mandrilamento, etc.), fluidos extremamente refrigerantes são indicados para operações em alta velocidade ou com alta geração de calor (retificação).

A escolha deve recair sobre o sistema que apresente o menor custo benefício sem causar danos à máquina. Atualmente, os fluidos semi-sintéticos e sintéticos têm apresentado melhor desempenho nesta avaliação, com exceção nas máquinas operatrizes, onde o fluido de usinagem é também o óleo lubrificante da máquina. Neste caso, o recomendado são os óleos integrais de base mineral.

2.1.4 Aspectos que influenciam a estabilidade dos fluidos de corte.

Para os **óleos de corte**, deve-se procurar manter a temperatura do óleo entre 21 e 24 ° C e impedir a entrada de líquidos estranhos e contaminantes que podem levar a formação de compostos insolúveis, resultado da incompatibilidade de alguns aditivos (Runge & Duarte, 1990).

A estabilidade das **emulsões e micro-emulsões** depende da manutenção das cargas repulsivas entre as gotículas de óleo formadas e dispersas na água. Segundo Runge & Duarte (1990), as principais causas de instabilidade das emulsões são:

- A adição de ácidos e sais.
- A acidulação da emulsão.
- O ataque bacteriano que consome emulgadores e aditivos anticorrosivos.
- A qualidade da água em relação á dureza da mesma.
- A limpeza do equipamento e áreas próximas.

Os **fluidos sintéticos** são pouco afetados devido principalmente à característica de formarem soluções verdadeiras. É muito importante o controle do pH e da concentração dos fluidos de corte solúveis em água. Estes parâmetros são os indicadores da estabilidade das emulsões e soluções no caso dos sintéticos.

Outro parâmetro fundamental a ser controlado é o crescimento microbiológico. A contaminação por bactérias aeróbicas e anaeróbicas resulta em redução do pH, irritação na pele, corrosão e mau cheiro, podendo levar à quebra da emulsão, com a formação de camadas sobrenadantes de óleo. Segundo Runge & Duarte (1990), a contaminação por fungos também resulta em formação de camadas sobrenadantes de óleo, entupimento de filtros e tubulações. A contaminação por líquidos estranhos leva a uma distorsão na medida da concentração, ocasionando maior desgaste da ferramenta, entupimento de filtros e névoa de óleo.

2.1.5 Manutenção dos Fluidos de Corte

Um bom programa de manutenção deve englobar a observação das alterações que surgem no sistema de refrigeração, buscando-se a detectar sinais de desestabilização do mesmo, além de incluir um procedimento periódico de manutenção. Este deve começar pela limpeza da máquina ferramenta, caso contrário, a limpeza inadequada dos reservatórios, linhas de alimentação e retorno e cantos mortos, permite a proliferação das bactérias já existentes, levando à degradação prematura da nova carga de fluidos de corte. A acumulação de cavacos ocasiona a redução do volume do reservatório e também com a proliferação de bactérias, fator de desestabilização das emulsões. É uma boa prática de manutenção a verificação periódica do pH, concentração e contagem dos microorganismos das emulsões ou soluções.

2.1.6 Descarte dos fluidos de corte

Os resíduos sólidos encontrados em um fluido de corte que já foi utilizado têm várias procedências.

As partículas metálicas dependem do material usinado, do tipo de operação e do fluido de corte utilizado. As partículas de resíduos de sais de água provém das impurezas nela contidas, que usualmente se concentram durante o processo. As partículas resultantes da degradação biológica podem ser os precipitados pretos, que surgem da combinação de H₂S (subproduto do metabolismo das bactérias anaeróbias) com íons ferrosos, conferindo às emulsões aspecto acinzentado e provocando a desestabilização da emulsão. A proliferação de fungos gera um material biológico entrelaçado e filamentosos que circula no fluido e se desenvolve nas interfaces fluido/ar. Os contaminantes externos, tais como poeira, óleo contaminante, soluções de limpeza, materiais orgânicos e os resíduos resultantes da interação do fluido de corte com o metal usinado podem ter efeito negativo no sistema de purificação do fluido de corte, levando a uma queda de eficiência do mesmo.

A remoção dos resíduos sólidos acima citados é feita por sistemas centralizados ou individuais, utilizando os processos de separação tal como: decantação ou escumação e filtração positiva, utilizando tanques de decantação, separadores magnéticos, os filtros e os hidrociclones (Runge & Duarte, 1990).

Os óleos de corte, ao serem descartados, podem ser vendidos para refinação, queimados em caldeira, desde que estejam dentro dos parâmetros requisitados pela legislação. Já as emulsões não podem ser descartadas em esgoto convencional, sendo imprescindível a separação do óleo emulgado e posterior tratamento da fase aquosa. O processo de tratamento das emulsões envolve etapas físicas e químicas: filtragem, quebra da emulsão, separação do óleo e tratamento da água separada.

Os fluidos de corte sintéticos ou soluções são constituídos de uma grande gama de matéria primas químicas que conferem as seguintes características às soluções: alcalinidade, rejeição de óleo, elevada carga orgânica constituída principalmente de cadeias abertas de fácil degradação por bactérias inoculadas e por oxidação química e predominância de tensoativos aniônicos e não-iônicos (Napier & Rich,1984).

Fluidos de corte verdadeiros (sintéticos) rejeitam o óleo contaminante e eliminam o estágio de quebra dos sistemas usados no descarte de emulsões. Para o tratamento bem sucedido das soluções verdadeiras através de sistemas convencionais de descarte é necessário compreender a química coloidal / tensoativa de cada fluido a ser descartado. Através da escolha correta do tipo e da dosagem adequada de coagulante polimérico, e tomando-se por base as faixas de pH encontradas, a taxa desejada das reações de precipitação pode ser controlada. Os ajustes adequados poderão então ser feitos para colocar a água efluente nos padrões necessários.

A tabela 2 mostra a comparação entre a geração de efluente e a disposição final de três tipos de fluidos de usinagem:

Tabela 2 : Disposição e Geração de Efluentes em diferentes fluidos de usinagem

Tipo	Solúvel Convencional	Semi – Sintético	Sintético (base óleo éster)
Consumo (L/mês)	7000	3000	3000
Geração de Efluentes (m ³)	100	10	5
Índice de Preço Referencial	1	2,5	5
Resistência no Ambiente	Incessante	Incessante	Biodegradável entre 3 a 6 meses

2.2 Aços Inoxidáveis: classificação, característica e usinabilidade.

2.2.1 Classificação e Características dos Aços Inoxidáveis

Aços Inoxidáveis são ligas ferrosas que possuem no mínimo 12% de cromo com a finalidade de resistir à corrosão. Níquel, cobre, silício e molibdênio também conferem esta característica à liga ferrosa.

Os aços inoxidáveis, de acordo com sua estrutura, são divididos em 4 classes: ferríticos, martensíticos (aços da série 400), austeníticos (série 300) e os ferríticos e austeníticos (Duplex). Os ferríticos são aqueles que possuem o cromo como principal elemento de liga e têm propriedades semelhantes ao ferro puro. Os austeníticos apresentam alto teor de níquel, que, por sua vez, trabalha como estabilizador da austenita em temperatura ambiente. A presença da austenita causa mudanças significativas das propriedades mecânicas desta liga: maior deformabilidade, tenacidade, resistência em altas temperaturas, soldabilidade e resistência à corrosão. Os aços inoxidáveis martensíticos têm altos teores de carbono e são difíceis de usinar devido à alta dureza, que exige um elevado esforço de corte devido à presença de partículas duras e abrasivas de carboneto de cromo.

Os aços austeníticos podem ser considerados como aqueles que são mais difíceis de serem usinados (Diniz, Marcondes & Coppini, 1999). Além dos fatores acima citados, outras características que dificultam a usinagem destas ligas são:

- Baixa condutividade térmica que dificulta a extração do calor da região de corte, o que provoca maior desgaste na ferramenta.

- Alto coeficiente de atrito, que como consequência gera aumento do esforço e do calor.
- Alto coeficiente de dilatação térmica, o que torna difícil a manutenção de tolerâncias apertadas.
- Elevado tensão de ruptura.

2.2.2 Usinabilidade: conceito

Quando abordamos o conceito de usinabilidade, devemos levar em conta que este não se refere a uma única propriedade do material, que pode ser claramente definida e mensurada (Bhattacharya, 1988). A usinabilidade deve ser entendida como um sistema de propriedades que dependem de interações complexas e dinâmicas entre os materiais da peça e da ferramenta, do fluido e das condições de corte. Assim, ao se proporcionar uma melhoria da usinabilidade, a consequência será em algum dos fatores abaixo relacionados (Trent, 1989):

- Aumento da vida útil da ferramenta de corte;
- Maior taxa de remoção do material que está sendo usinado;
- Melhoria do acabamento superficial;
- Melhor controle na formação do cavaco;
- Diminuição das forças de corte.

A tabela 3 relaciona o tipo de aço inoxidável com suas características e usinabilidade. Podemos concluir que os materiais do tipo austenítico, devido à grande tendência à formação de aresta postiça de corte e a dificuldade de remoção do cavaco (delgado e aderente) e o duplex, por ser limitado pelo alto nível de resistência mecânica e apresentar elevado nível de dureza, são os que apresentam as piores condições para serem usinados.

2.2.3 Aços Inoxidáveis : classificação, características e usinabilidade

Tabela 3. Classificação dos aços inoxidáveis. (Gennari & Machado, 1999).

Grupos (Principais Classes)	Características Gerais	Usinabilidade
Ferríticos (ABNT 430, 430F, 431, 444)	Endurecidos por deformação a frio. Larga faixa de resistência à corrosão (de moderada a boa). Ductibilidade relativamente boa.	Melhor para aquelas com baixos teores de Cr. Cavacos bastante delgados e com grande deformação para ligas com maior teor de Cr.
Martensíticos (ABNT 403, 410, 416, 420F)	Normalmente temperados e revenidos. Níveis moderados de resistência à corrosão. Boa ductibilidade e tenacidade.	Melhor para as ligas revenidas de baixo Carbono. Forte influência do nível de dureza e dos teores de níquel e carbono.
Austeníticos (ABNT 303, 304, 304L, 310, 316, 316L)	Elevada taxa de encruamento. Resistência á corrosão de boa à excelente. Excelente ductibilidade e tenacidade.	Grande tendência à formação de aresta postiça de corte. Dificuldade de remoção do cavaco (delgado e aderente). Superfícies de corte endurecidas.
Duplex (ferrítico + austenítico) (ABNT 318, 329, 325)	Resistência à tração duas vezes a das ligas austeníticas, sendo maior com deformação a frio. Excelente resistência á corrosão. Boas ductibilidade e tenacidade.	Limitada pelo alto nível de resistência mecânica. Elevado nível de dureza. Poucas alternativas de versões de usinabilidade melhorada.
Endurecidos por Precipitação (UNS – S13800, S15500)	Podem ser endurecidos em diferentes níveis de resistência. Moderada resistência à corrosão. Boa ductibilidade e tenacidade.	Depende do tipo de liga e do nível de dureza. Limitada pela dureza relativamente alta, melhorada com tratamentos de revenimento.

2.2.4 Aço Inoxidável: dificuldades de usinagem.

Os principais fatores determinantes para a baixa usinabilidade dos aços inoxidáveis austeníticos são sua alta deformabilidade, elevado módulo de ruptura e forte tendência ao encruamento (Kuo-Liang, 1984).

A baixa condutividade térmica dos aços inoxidáveis é outro fator prejudicial á usinagem. Nestas condições, o calor gerado durante o processo de deformação concentra-se nas regiões de cisalhamento, elevando muito a temperatura de corte. A Figura 4 apresenta uma comparação entre a condutividade térmica do aço inoxidável do tipo austenítico em relação a outros aços, mostrando que a mesma se apresenta duas a três vezes menor (Martin & Ocquidant, 1992).

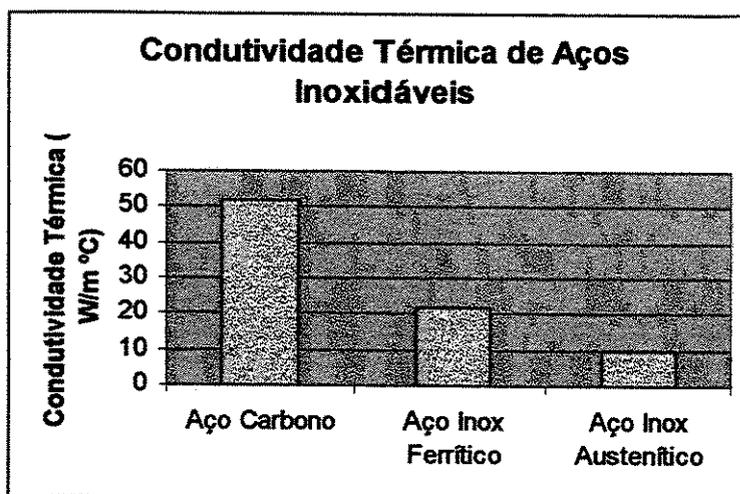


Figura 4: Condutividade Térmica de Aços Inoxidáveis

A baixa usinabilidade do aço inox do tipo austenítico, vista em várias formas de desgaste como de flanco, de cratera e de entalhe, assim como a deformação plástica e o microlascamento(fragmentos da ferramenta são arrastados com o cavaco), também são atribuídos às baixas propriedades térmicas e conseqüentes altas temperaturas destes materiais.

Do ponto de vista do desgaste da ferramenta, a adesão severa e a tendência á formação da aresta postiça de corte são outros fatores que contribuem para agravar os problemas de usinagem inerentes a este tipo de material.

A tabela 4 mostra uma comparação entre o coeficiente de dilatação térmica, demonstrando a dificuldade que o aço inox do tipo austenítico tem em manter as tolerâncias de usinagem, principalmente em condições de refrigeração inadequada.

Tabela 4 : Coeficiente de Dilatação Térmica entre 20 e 200 °C para Famílias de Aço.

Famílias de Aço	Coeficiente de dilatação Térmica ($\mu\text{m}/\text{m } ^\circ\text{C}$)
Aços de Construção Mecânica	11
Aços Inoxidáveis Martensíticos (13% Cr)	11
Aços Inoxidáveis Austenítico (18 - 10% Ni)	18,5

As freqüentes dificuldades na quebra do cavaco e a deterioração da qualidade superficial são atribuídas às instabilidades do fluxo associadas às altas taxas de deformação e efeitos térmicos presentes na usinagem. Como conseqüência, observa-se a formação de cavaco lamelar e flutuação nas forças de corte (Chandrasekaran, Johansson & Gunnarsson, 1994).

2.2.5 Aço Inoxidável: soluções para a usinagem.

Concluimos que a baixa usinabilidade dos aços inoxidáveis, principalmente os do tipo austenítico, é uma de suas principais características, e, é determinada por (Gennari & Machado, 1999):

- Alta deformabilidade.
- Elevadas taxas de encruamento.

- Baixa condutividade térmica,
- Elevada tensão de ruptura.
- Tendência de aderência na ferramenta e elevado coeficiente de atrito.
- Elevadas temperaturas e forças de corte.
- Prejuízo do acabamento superficial.
- Altas taxas de desgaste da ferramenta.

O emprego de adições de elementos de livre corte é o recurso mais antigo adotado para a melhoria da usinabilidade dos aços inoxidáveis, sendo o enxofre o elemento inicialmente utilizado. Entretanto a adição pura e simples se mostrou prejudicial às propriedades mecânicas e de resistência à corrosão (Kuo-Liang, 1984).

O controle da morfologia e da quantidade das inclusões apresenta-se como uma boa alternativa aos métodos antigos e sem resultar na perda das propriedades desejáveis. A desoxidação com cálcio e a adição de cobre, formas recentes de tratamento do material, têm apresentado bons resultados quanto à melhoria da usinabilidade.

Recomendações referentes à geometria das ferramentas sugerem o emprego de ângulos de saída positivos e grandes ângulos de folga, com a presença de quebra-cavacos sempre que possível. O material de ferramenta mais indicado é o metal duro, revestido ou não.

O emprego de velocidades de corte e avanços moderados e de grandes profundidades (até o valor limite) proporcionam melhores resultados, em função do material a ser trabalhado e da ferramenta utilizada.

Máquinas, estruturas e elementos de fixação devem ser robustos e estáveis, para evitar vibrações durante a usinagem, uma vez que as forças de cortes são, quase sempre, bastante elevadas.

A usinagem de aços inoxidáveis requer, em geral, o emprego de fluido de corte (White, 1976). O mais frequentemente utilizado é o óleo solúvel, devido às propriedades de lubrificação e refrigeração.

2.3.1 O processo de furação.

Furação é um termo abrangente que inclui todos os métodos de se obter um furo cilíndrico em um material utilizando ferramentas de corte. Além de ser utilizado para representar a obtenção de furos rasos ou profundos, este termo também pode englobar operações subsequentes tais como: alargamento, rebaixamento e várias formas de acabamento (segundo Norma DIN 8589, parte 2, 1982).

O fator comum em todos estes processos é o movimento de rotação combinado com um movimento de avanço linear.

Trataremos somente do processo de furação para furos não muito profundos pois, os profundos, merecem todo um tratamento à parte.

O processo de furação é um dos processos de usinagem mais utilizados na indústria. A grande maioria das peças tem pelo menos um furo. Somente uma quantidade muito pequena destas peças vem com o furo pronto do processo de geração da peça bruta por fundição, forjamento e etc. Geralmente, as peças necessitam de uma furação em cheio ou terem o diâmetro do furo aumentado.

Antigamente, os furos eram obtidos principalmente em máquinas convencionais, furadeiras verticais que geralmente eram o gargalo da produção. Apesar de sua importância, este processo recebeu poucos avanços até pouco tempo atrás.

Nos últimos anos, no entanto, nota-se um crescimento razoável na utilização de Centros de Usinagem CNC no processo de obtenção de furos, onde a grandeza das rotações é superior a 6000 rpm com possibilidade de incremento da mesma. Este fato impulsionou o desenvolvimento de brocas diferentes da broca helicoidal de aço rápido que se encontrava na maioria das operações.

2.3.2 Ferramentas para furação.

No processo de furação, a ferramenta mais utilizada é a broca helicoidal de aço rápido, que não recebeu muitos avanços em termos tecnológicos até poucos anos atrás.

Atualmente, a introdução de máquinas com maiores recursos de rotação, rigidez e potência, motivou as indústrias que fabricam ferramentas a investirem em novos materiais para as brocas para obtenção de furos. Os mais importantes são:

- Brocas de aço rápido revestidas com nitreto de titânio: este tipo de cobertura possibilitou um substancial aumento da velocidade de corte e avanço da ferramenta, devido ao seu baixo coeficiente de atrito, além de aumentar a resistência ao desgaste em altas temperaturas e agir como isolante térmico entre o substrato da ferramenta e o material usinado. (Diniz, Marcondes e Coppini, 1999).
- Brocas inteiriças de metal duro: especialmente indicadas para furos com diâmetros menores que 20mm.
- Brocas com pastilhas intercambiáveis de metal duro: utilizadas na obtenção de furos de diâmetro médios, pois apresentam dificuldade de fixação dos insertos para brocas de diâmetros pequenos.

depois o furo passa por operações de acabamento tais como: alargamento, brochamento, mandrilamento, torneamento interno, retificação, etc. Além disso, muitas vezes, para se abrir um furo com broca helicoidal, é necessário que em primeiro lugar seja feito um furo de centro, afim de que a broca não realize um corte excêntrico a partir do início do furo.

Atualmente, a utilização de brocas de metal duro em máquinas modernas que possibilitam alta rotação e rigidez, permite a obtenção de furos mais precisos sem a necessidade de pré-furo ou furos de centro. Muitas dessa brocas possuem geometria com efeito auto-centrante, o que evita a realização de furos excêntricos (Diniz, Marcondes e Coppini, 1999). A Figura 5 apresenta uma vista frontal e lateral de uma broca helicoidal, bem como suas arestas de corte, superfície principal e secundária de saída e de folga.

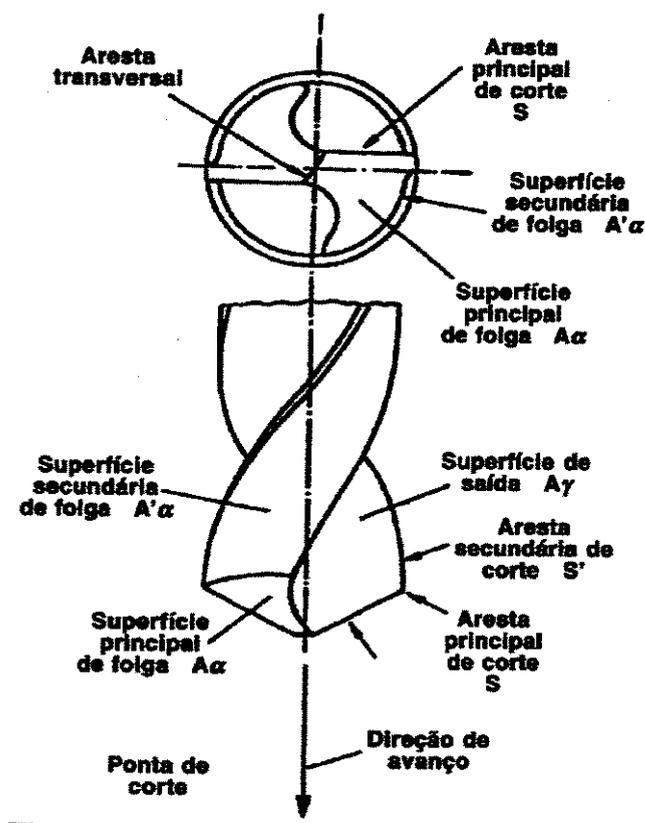


Figura 5: Vista lateral e frontal de uma broca helicoidal.

2.3.3 Nitreto de Titânio(TiN) como Revestimento de Brocas.

A aplicação em escala industrial de revestimentos de nitreto de titânio (TiN) em ferramentas de usinagem começou na década de 60, quando, através do processo CVD (deposição química a vapor), as ferramentas de metal duro começaram a ser revestidas. Como este processo de revestimento exige uma temperatura superior a 1000 °C, acima da temperatura de revenimento dos aços, este processo não pôde ser aplicado ao aço rápido.

Nos anos 80 foi estabelecido um novo processo de cobertura por deposição física a vapor (PVD), que exige temperaturas inferiores ao CVD, por volta de 450 a 500 °C, portanto não afeta o tratamento térmico previamente realizado nos aços rápidos, permitindo assim a cobertura deste tipo de ferramenta (Diniz, Marcondes e Coppini, 2000).

A presença da camada de revestimento de TiN faz com que o corte aconteça com esforços menores, devido ao seu baixo coeficiente de atrito. Como esta camada possui alta dureza, tanto a frio como a quente, e também baixo coeficiente de atrito, os desgastes são menores, principalmente aquele que acontece na superfície de folga da ferramenta. Existe uma menor tendência à formação da aresta postiça de corte, devido à menor tendência do caldeamento a frio.

Por todas estas qualidades apresentadas, a ferramenta de corte revestida apresenta maior vida útil, quando comparada com uma sem revestimento nas mesmas condições de corte (Sandvik, Modern Metal Cutting).

O revestimento de brocas com TiN é um fator interessante devido à qualidade obtida nos furos apresentando um incremento sensível na diminuição da rugosidade obtida (Sandvik, 1999)

Devido à diferente formação do cavaco e à utilização de maiores avanços e velocidades de corte, foi necessária a modificação da geometria da ferramenta quando o TiN é aplicado em brocas, a fim de que o maior volume de cavaco formado possa ser removido sem danos para a peça ou ferramenta. Assim, novas geometrias já foram desenvolvidas que incorporam um maior ângulo de hélice ou de saída da broca e uma nova geometria dos canais da broca que facilita esta remoção.

A Figura 6 mostra duas brocas helicoidais, uma com revestimento(a que apresenta coloração amarelada) e uma broca sem revestimento.

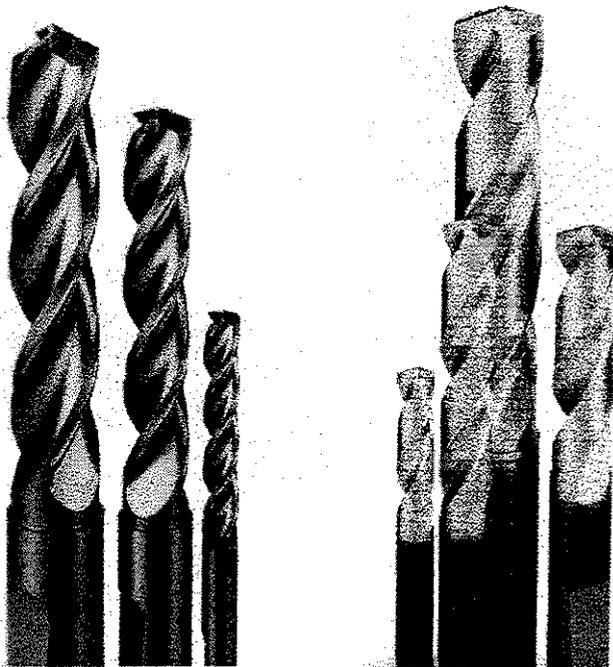


Figura 6: Brocas helicoidais com e sem revestimento.

Capítulo 3

Método Experimental

A metodologia desenvolvida para o ensaio foi baseada em testes previamente realizados no Laboratório de Usinagem. Estes testes determinaram que os ensaios de furação com brocas helicoidais revestidas, usinando sem fluido de usinagem e com a aplicação do fluido por mínima quantidade de lubrificação, não foram satisfatórios.

Os resultados favoráveis, somente foram alcançados quando se utilizou um fluido do tipo emulsionável, aplicado pelo centro da broca, através de seu canal interno para lubrificação.

Sendo assim, dado os resultados favoráveis obtidos com a aplicação do fluido lubrorefrigerante, os parâmetros de corte, a metodologia de ensaio, o tipo das brocas, o material a ser usinado e a máquina operatriz foram mantidos. A variável neste novo processo foi o fluido de usinagem. Os dados de saída foram levantados para a operação utilizando um fluido do tipo mineral emulsionável e para um fluido sintético ou solução verdadeira. Todas as etapas de preparação e obtenção dos dados são apresentadas a seguir.

3.1 Preparação dos corpos de prova.

O material ensaiado foi oferecido em dois tipos de perfil: uma placa com as dimensões de 200x30x400 (mm) e barras cilíndricas de 1000 mm com diâmetro de 2". O acabamento superficial não era de boa qualidade.

Para que os corpos cilíndricos tivessem o diâmetro especificado para serem fixados ao dinamômetro, os mesmos foram torneados do diâmetro de 2" para o diâmetro de 41,5 mm. Tanto a placa como os corpos cilíndricos sofreram operação de desbaste por fresamento sem refrigeração, a fim de que os efeitos das microirregularidades nas superfícies a serem usinadas fosse diminuído. As Figuras 7 e 8 mostram esquematicamente as dimensões finais dos perfis de teste.

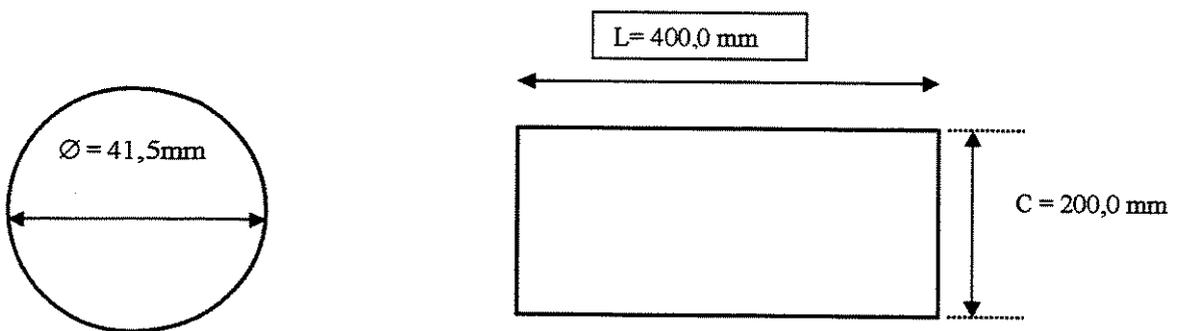


Figura 7: Vista Superior dos Perfis de Teste.

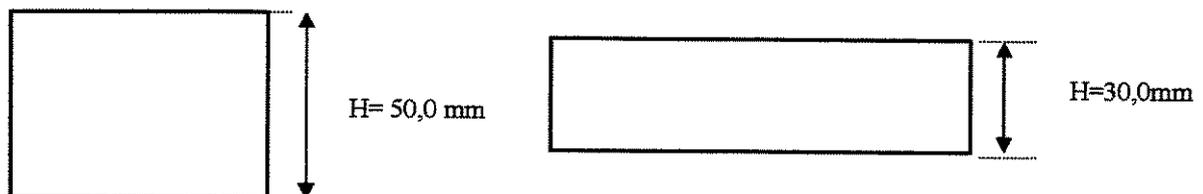


Figura 8: Vista Lateral dos Perfis de Teste.

Foi determinada uma seqüência para obtenção dos furos no corpo de prova, bem como a identificação dos mesmos a partir de uma marcação realizada na superfície do cilindro antes da remoção do mesmo do dinamômetro.

Os furos foram efetuados no sentido anti-horário partindo da marca no corpo de prova. A Figura 9 mostra o corpo de prova tal como era retirado do dinamômetro e a respectiva seqüência de furos usinados, incluindo a identificação do primeiro furo.

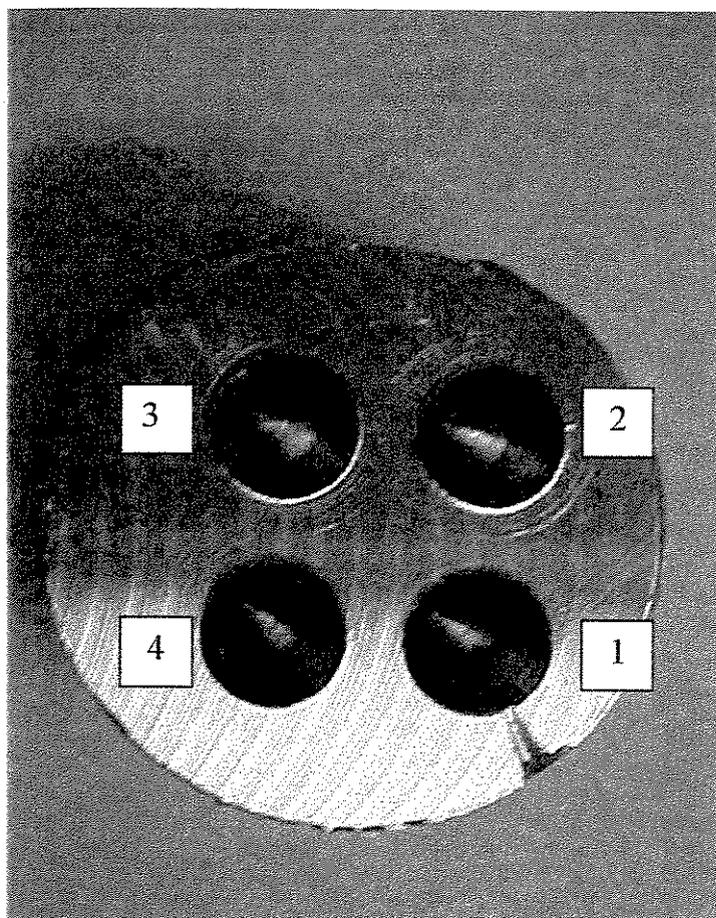


Figura 9: Corpo de Prova Cilíndrico após a operação de furação e a respectiva seqüência de obtenção dos furos.

3.2 Ensaio de Furação.

Os ensaios de furação foram realizados em um centro de usinagem vertical CNC, modelo SV-40 do fabricante de máquinas MORI-SEIKI, com comando eletrônico produzido pela FANUC, Figura 10.



Figura 10 - Centro de Usinagem Vertical, modelo SV-40 MORI SEIKI com comando eletrônico FANUC.

Esta máquina oferece alguns recursos que garantem os resultados obtidos, apresentando consistência e confiabilidade nos mesmos. Dentre estes recursos podemos destacar a extrema rigidez, que permite uma maior estabilidade na obtenção de diâmetros sem variação dimensional durante o teste, a potência do motor principal de 22 kW (30 hp) e três eixos acionados por servos-motores independentes. Finalmente, este equipamento possibilita a variação contínua da rotação do eixo árvore, podendo atingir até 12000 rpm.

Os perfis foram afixados na máquina operatriz como mostra a Figura 11. Nela pode-se observar a posição do dinamômetro, da placa e da broca.

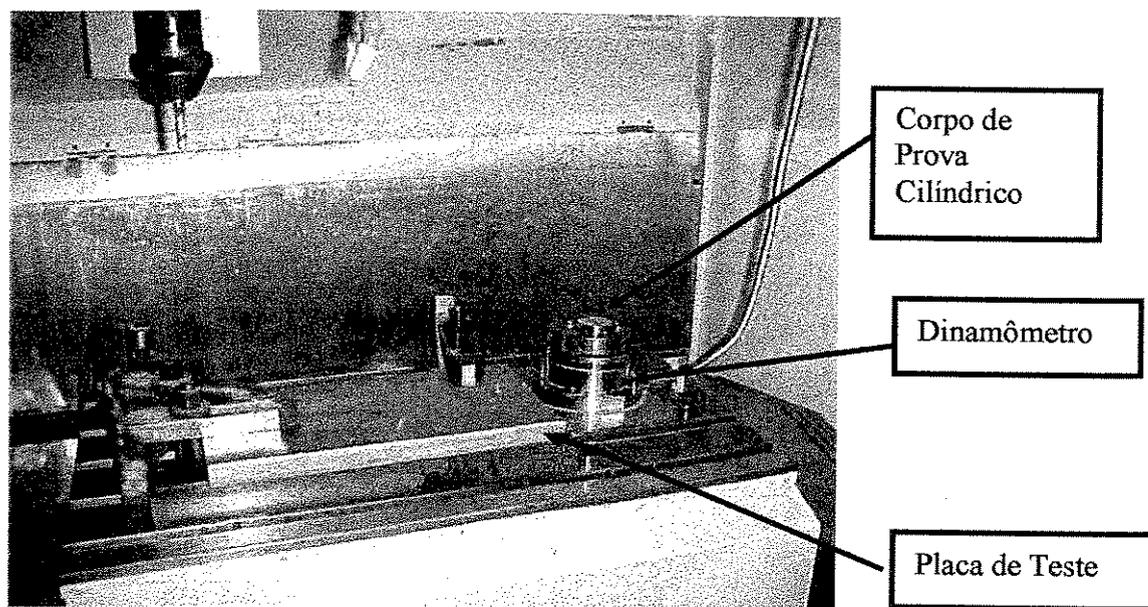


Figura 11- Posicionamento dos corpos de prova, placa e cilindro, na Máquina Operatriz e do Dinamômetro.

3.2.1 Metodologia do Ensaio

O ensaio de furação cumpriu a seguinte seqüência:

1. Os oito primeiros furos foram realizados na placa de teste.
2. O furo nº 9 e seus subseqüentes (18, 27, 36, 45, 54, 63, 72, 81, 90, 99 e 108) foram realizados no corpo de prova afixado no Dinamômetro.
3. A seqüência acima foi repetida até o total de 108 furos.

4. No décimo oitavo furo e subseqüentes (36, 54, 72, 90 e 108) foi medido a evolução do desgaste V_B da broca.
5. Os ensaios foram realizados duas vezes para cada tipo de fluido.

A quantidade de furos necessária (108) foi estipulada através de informações obtidas no catálogo do fabricante (Sandwik - Titex Plus) relativas à vida da ferramenta, levando em consideração a profundidade dos furos (duas vezes o diâmetro da broca).

3.2.2 Equipamentos para Aquisição de Dados

Durante a operação, determinada no segundo item da seqüência acima descrita, foram aquisitados, no dinamômetro, os resultados da Força de Avanço (Ft) e do Momento Torsor (Mt).

O dinamômetro em questão é de procedência Suíça, marca Kistler, tipo 9272, acompanhado de *software* específico (Dinoware) para este tipo de operação. Sendo assim, foram monitorados tais esforços em tempo real a uma taxa de amostragem de 2,65 Khz, durante 0,4 segundos em cada amostragem.

Utilizando o recurso de monitoramento da corrente e da tensão elétrica, foi obtida indiretamente a Potência de Corte, através de um equipamento eletrônico projetado e construído pelo Departamento de Engenharia de Fabricação da Universidade Estadual de Campinas. Este equipamento foi colocado somente em uma das fases de alimentação do motor elétrico da máquina. Portanto, a potência elétrica total consumida na usinagem é igual a 1,732 vezes a potência da fase monitorada.

Utilizando-se uma placa de conversão A/D, modelo Lab-PC+ e o *software* NI-DAQ (versão 4.8) e Labview (versão 3.11), da National Instrument, o sinal resultante da tensão deste equipamento foi obtido a uma taxa de amostragem de 50 Hz durante três segundos. Ambos os sinais de potência em vazio e durante a operação de furação foram adquiridos, permitindo assim, a obtenção da potência de corte para os ensaios de usinagem dos furos.

A determinação da evolução do desgaste na superfície de folga da broca, desgaste V_B , foram obtidas em um analisador de imagem Global Image Analyser acompanhado do respectivo *software* Global Lab. Este conjunto de equipamentos é constituído de um microscópio ótico com ampliação de 25 a 50 vezes, onde uma câmara de vídeo e um computador compatível são acoplados. A Figura 12 apresenta este conjunto.

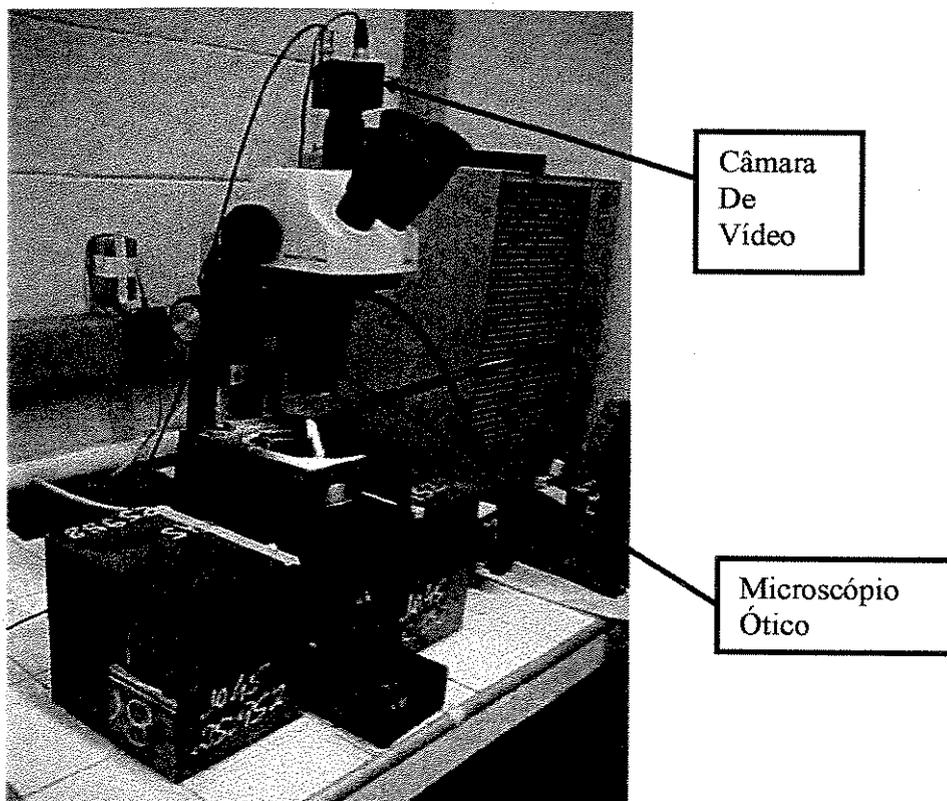


Figura 12- Aparato para determinação do desgaste V_B .

3.2.3 Equipamentos e Metodologia de Medição da Qualidade dos Furos:

Para a obtenção das medidas de rugosidade (Ra), foi utilizado um rugosímetro do tipo Perthen, modelo universal S4Bd. O corpo de prova cilíndrico foi posicionado no equipamento e a rugosidade foi medida em três posições: na entrada da broca, no meio do furo e próximo ao fundo. Este mesmo ensaio foi repetido virando-se o corpo de prova em 180° . Foram determinadas as médias destes valores para cada furo nos respectivos sistemas lubrorefrigerantes. A Figura 13 mostra o equipamento e a posição do corpo de prova durante a medição.

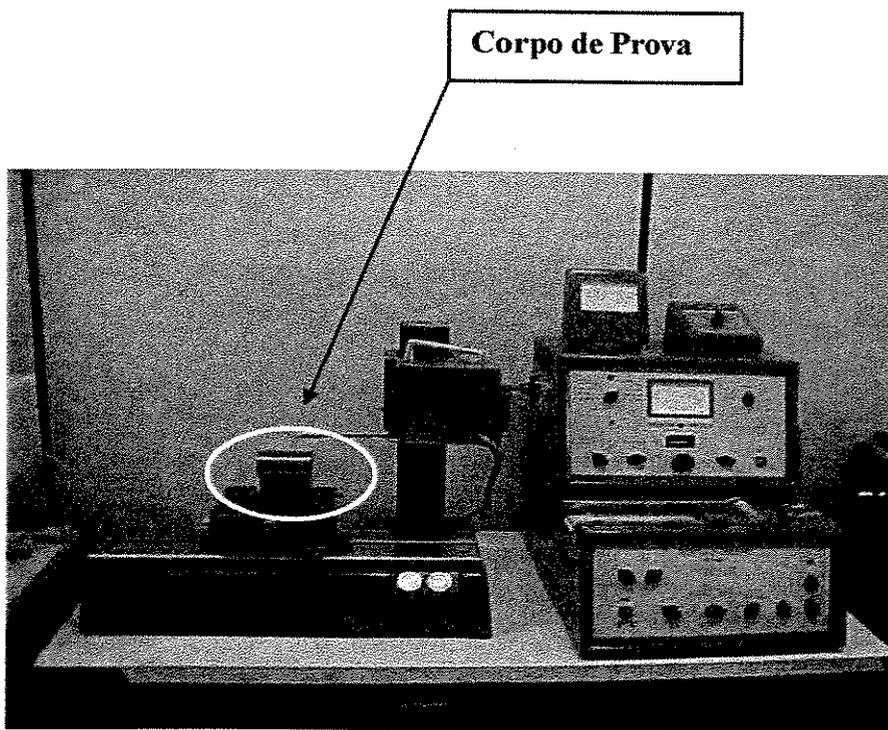


Figura13 - Rugosímetro Perthen, modelo universal S4Bd e posicionamento do corpo de prova para obtenção da rugosidade.

Para a obtenção da variação do diâmetro, variação de cilindridade e variação da circularidade foi utilizado um equipamento eletrônico programável para medição de coordenadas tridimensionais Renishaw TPT modelo PMM 866. Os pontos, aproximadamente em número de 30 em cada medida, para determinação das variáveis, foram tomados no início, meio e fundo do furo. A média destes pontos, nas três posições, foi calculada para cada furo em cada um dos sistemas de refrigeração.

A fim de se manter a regularidade e a padronização destas medidas, o corpo de prova foi colocado em um aparato que permitia sempre o mesmo posicionamento para a tomada dos valores de circularidade, cilindridade e diâmetro. As Figuras 14, 15 e 16 mostram o sistema tridimensional e o detalhamento do posicionamento do suporte e do corpo de prova respectivamente.

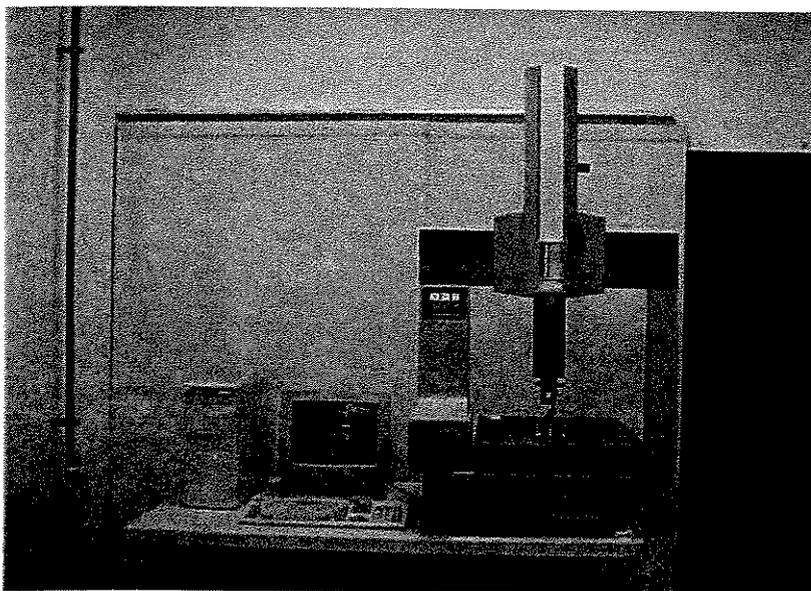


Figura 14 - Coluna Tridimensional utilizada para a determinação da variação do diâmetro, da circularidade e da cilindridade dos furos.

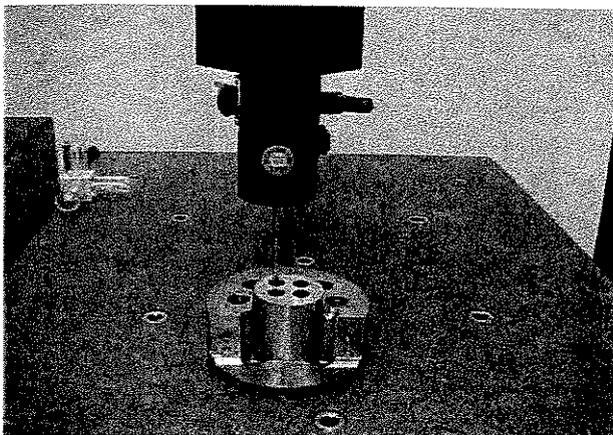


Figura 15 - Detalhe do posicionamento do corpo de prova e do suporte na tridimensional para determinação da variação do diâmetro, circularidade e cilindricidade.

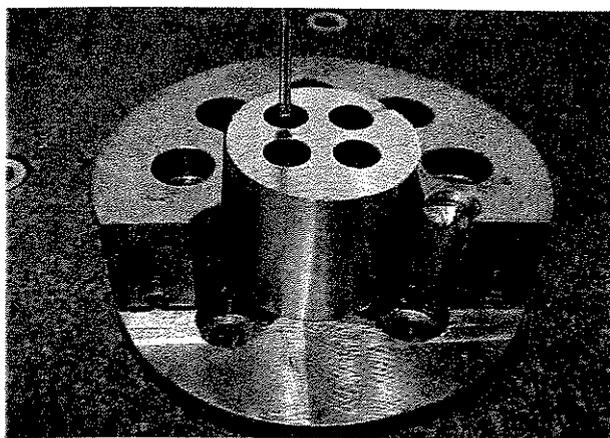


Figura 16 - Detalhe do suporte e do corpo de prova utilizado para a determinação da variação do diâmetro, circularidade e cilindricidade na tridimensional.

3.3 A Ferramenta

O diâmetro da broca escolhido para os ensaios foi o de 10 mm. Esta medida foi escolhida devido a 3 fatores principais : por este valor ser padrão para sua utilização no ensaio, por representar um diâmetro intermediário nas operações de usinagem de furos, e, por fim, por ser um diâmetro amplamente utilizado na produção industrial.

A Tabela 5 apresenta a especificação da broca utilizada nos ensaios de furação.

Tabela 5 – Especificação da Broca, segundo dados do fabricante.

Fabricante	Titex Plus
Broca	Alpha 4 ; d= 10 mm ; K30F
Recobrimento	TiN
Especificação	A 3285
Dimensões Conforme	DIN 6537 K
Haste Conforme	DIN 6535HA
Aplicabilidade	Aço e Aço Inoxidável
Velocidade (m/min)	30 a 50
Avanço (m/min)	0,08 a 0,14
Desenho / Furos	Broca de alta performance inteiriça de metal duro com dois canais helicoidais para refrigeração, arestas de corte principais curvas, chanfros de proteção sobre a aresta principal e secundária, diminuição da aresta transversal (adelgaçamento da alma).

Devido à alta tendência que o aço inoxidável tem de formar aresta postiça de corte, a utilização de brocas com canais internos para refrigeração foi uma necessidade do processo. A Figura 17 mostra esquematicamente a geometria da ponta da broca e a disposição dos canais helicoidais de refrigeração.

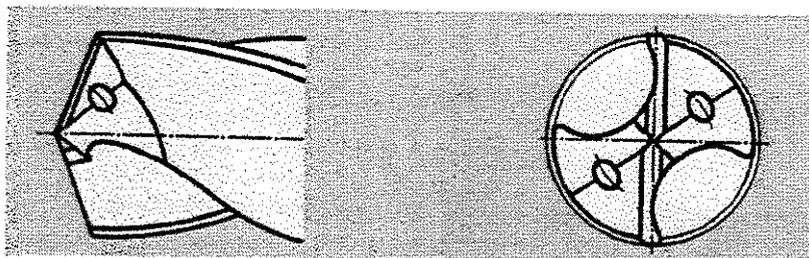


Figura 17 - Geometria da Ponta e Canais Helicoidais da Broca.

3.4 O Material.

O material utilizado para o ensaio foi cedido pela Villares Metal do Brasil S/A. Importante ressaltar que o aço inoxidável utilizado, AISI 304 USIFAC, teve sua constituição química modificada em relação ao AISI 304, a fim de que, o mesmo apresentasse melhor característica quanto a usinabilidade. O material em questão apresenta a densidade de $7,6 \text{ g/cm}^3$, levemente inferior à densidade do AISI 304 que é igual a $7,9 \text{ g/cm}^3$.

A Tabela 6 mostra a composição química básica do material utilizado (304 USIFAC) e do 304 segundo norma ABNT. Dados levantados pelo Centro de Pesquisa da Villares Metals em 2001.

Tabela 6: Quadro Geral das Composições Químicas dos Aços Inoxidáveis.

Aço/ Composição % de Massa	AISI 304 (Norma) Min. – máx.	AISI 304 USIFAC
Carbono	0,080 máx.	0,020
Silício	1,00 máx.	0,340
Manganês	2,00 máx.	1,79
Cromo	18,00 a 20,00	18,30
Níquel	8,00 a 10,50	8,24
Molibdênio	s/ referência	0,42
Alumínio	s/ referência	0,42
Cobre	s/ referência	0,52
Fósforo	0,045 máx.	0,034
Enxofre	0,030 máx.	0,024
Nitrogênio	0,100 máx.	0,041
Cálcio	s/ referência	0,0005

O aço inoxidável utilizado nos ensaios é do tipo austenítico de baixo teor de carbono, ligado ao Cromo – Níquel. O aço inoxidável AISI 304 USIFAC apresenta alterações no balanceamento químico, referenciando à norma ABNT 304, principalmente dos elementos enxofre, chumbo, selênio e telúrio, cujas porcentagens não foram reveladas pelo fabricante, e, pelo controle de inclusões duras do tipo alumina.

A usinabilidade dos aços inoxidáveis é inferior a dos aços carbono. Isto está relacionado diretamente com a composição química dos mesmos. Esta composição é que vai determinar as características tais como: possuir ou não alta ductibilidade e tenacidade, possuir ou não alta resistência mecânica em elevadas temperaturas causadas pela alta taxa de encruamento (Tessler, 1994).

3.5 Fluidos de Corte Testados.

Os testes foram realizados com dois tipos de fluidos de corte:

- Uma emulsão constituída principalmente por óleo mineral;
- Uma solução sintética a base de ésteres e poliglicol.

A descrição dos fluidos lubrorefrigerantes é:

- **Coll Hedge B1:** fluido de corte emulsionável em água, formando emulsão branca ao ser misturado com a mesma na proporção de 5% e tendo como constituintes básicos de sua formulação os seguintes componentes: óleo mineral, tensoativos aniônicos, anticorrosivos, antiespumante, agentes bactericidas e aminas.
- **Agecool 939/HD:** fluido de corte solúvel em água, formando solução transparente quando na concentração de 5% em água. Tem como principais constituintes básicos: água, composto sintético à base de ésteres graxos, mistura de poliglicóis, tensoativos, aditivos de extrema pressão, inibidores de corrosão e agentes bactericidas e fungicidas.

3.5.1 Aparelhos de Medição para controle dos fluidos lubrorefrigerantes:

Os equipamentos utilizados para o monitoramento dos fluidos de usinagem foram:

- Um peagâmetro portátil da marca Coming , modelo Check – Mite PH 10, cuja aplicação foi o monitoramento do pH dos fluidos no tanque da máquina operatriz.
- Um refratômetro manual de bolso, marca ATAGO, modelo N-1E, utilizado para a medir a concentração dos fluidos durante a operação de furação.

Os instrumentos, acima descritos foram calibrados no Laboratório da empresa Agena, fabricante de um dos fluidos, localizada no Rio de Janeiro.

Para se obter o ajuste do zero no refratômetro foi utilizada água corrente. Com o auxílio de uma pequena ferramenta do tipo chave de fenda, um parafuso localizado na parte superior do aparelho é movimentado até se obter a intersecção das duas áreas na marca do zero da escala. A Figura 18 mostra o refratômetro utilizado.

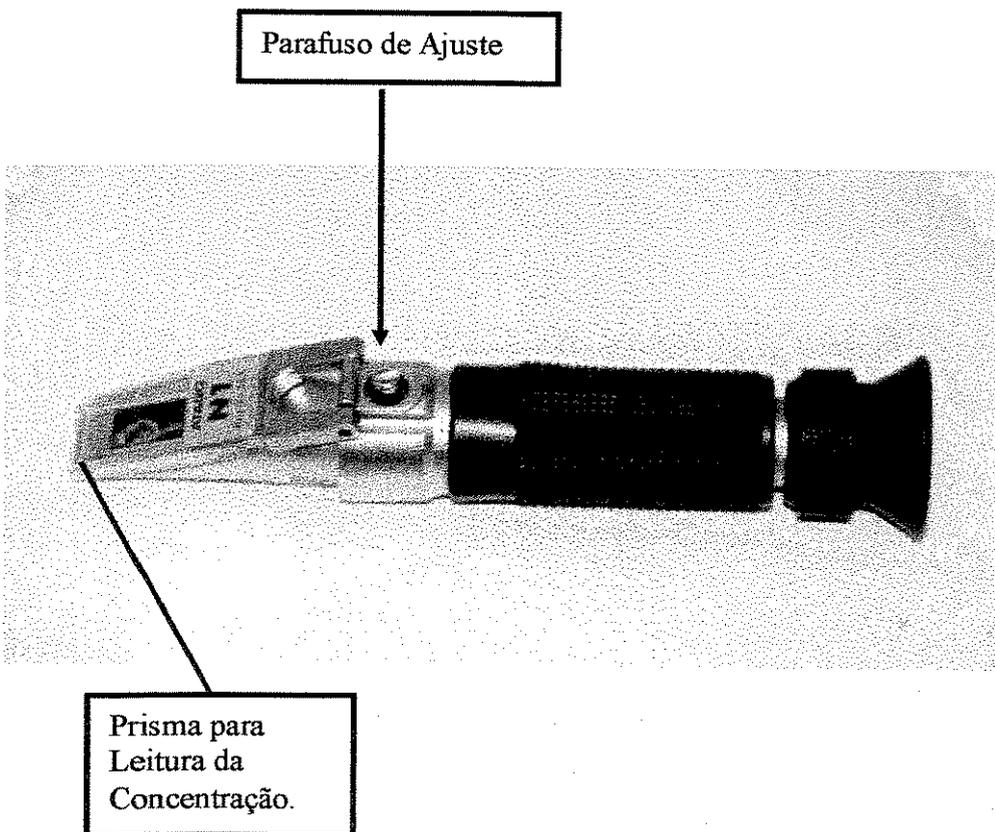


Figura 18- Refratômetro utilizado para a determinação da concentração dos fluidos .

O zero é obtido quando, ao se medir a refração da água, se dá a intersecção da parte escura com a parte clara na posição 0% brix. Uma representação esquemática do que se observa na ocular do refratômetro durante o ajuste do zero é mostrado na Figura 19.

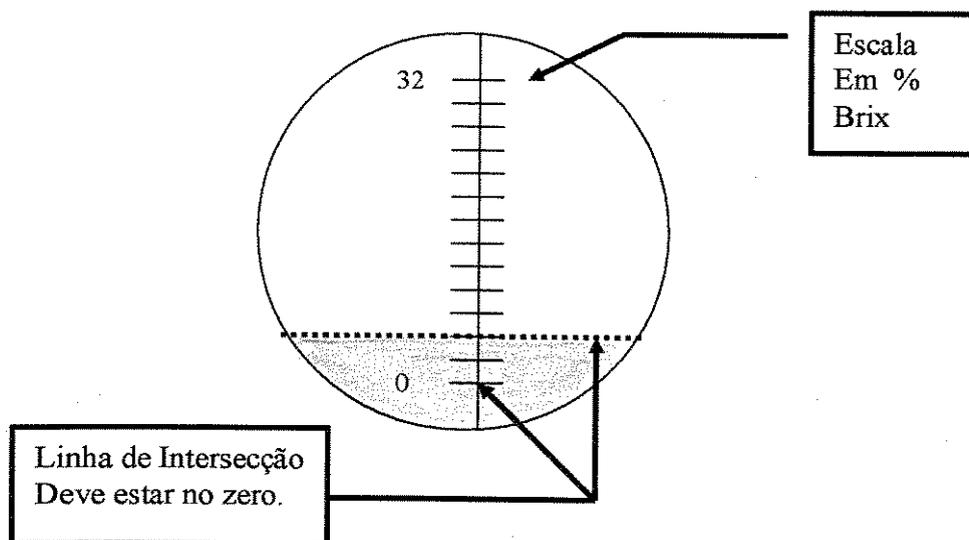


Figura 19 - Calibração do Zero no Refratômetro Manual.

A utilização do refratômetro na determinação da concentração de emulsões e soluções é, segundo Runge & Duarte (1990), o meio mais rápido e de boa precisão. Única ressalva deve ser feita ao fato de que este equipamento mede a quantidade total de óleo que está emulsionado, no caso das emulsões. Este fato pode levar a distorções na leitura quando o fluido lubrorefrigerante tem o poder de emulgar óleos estranhos, por exemplo, o lubrificante de barramento e algum possível vazamento de óleo do sistema hidráulico da máquina operatriz. Neste caso, é necessário que se faça uma análise química da concentração, através da determinação por titulação química, de algum componente do fluido de corte.

O refratômetro utilizado, do tipo universal, requer a aplicação de um fator de correção para que a concentração lida seja ajustada ao valor real. Na verdade este fator está diretamente relacionado com a quantidade de água presente na fórmula do fluido de corte. Quanto maior a quantidade de água na fórmula, maior o fator de correção para a leitura.

Portanto, antes de medir a concentração é preciso determinar o fator de correção que ajusta o valor da leitura à concentração da solução / emulsão.

Para se determinar o fator de correção, foi adotado o seguinte procedimento, executado em um laboratório de química:

- Em um balão volumétrico de 100 ml foi adicionado 90 ml de água da rede, a temperatura ambiente, adicionando-se 10 ml do fluido em sua fórmula concentrada com uma pipeta volumétrica de 10 ml.
- Após a homogeneização da emulsão/solução, através de simples agitação mecânica, retira-se uma pequena alíquota da emulsão/solução, coloca-se no refratômetro, e se determina a concentração correspondente.

Este procedimento foi repetido para os dois fluidos e foram determinados os fatores de correção. A Tabela 7 mostra o fator de correção encontrado para cada um dos fluidos.

Tabela 7: Fator de correção para cada tipo de fluido de corte, determinado em laboratório.

Fluido	Concentração Padrão	Concentração lida No refratômetro.	Fator de correção	Leitura no refratômetro para concentração de 5%.
Coll Hedge B1	10	11	0,91	5,6
Agecool 939/ED	10	7,0	1,43	3,5

De posse destes fatores, foi possível determinar e monitorar a concentração dos fluidos durante a operação de corte. A última coluna da Tabela 7 indica os valores corretos de leitura para cada tipo de fluido para a concentração estipulada para o teste (5%).

Para a calibração do peagâmetro, foram utilizadas soluções padrões de pH 7 e pH 10. O ajuste é feito automaticamente pelo aparelho, através da função “CAL”.

O controle da evolução do pH é muito importante para as emulsões, pois ele pode evidenciar a decadência da mesma devido ao ataque microbiológico. O crescimento acentuado de bactérias pode causar danos à integridade da emulsão e com graves conseqüências à operação de usinagem.

Durante o experimento com a emulsão, obtida com o fluido Coll Hedge B1, foram necessária **duas** adições de bactericida na proporção de 4000 ppm com intervalo de 20 dias. Este procedimento foi necessário pois o pH da emulsão chegou ao valor de 7,8 , valor este considerado muito baixo em comparação com o pH de 8,7 da emulsão nova. Além de que, o odor que a emulsão exalava durante os ensaios causava muito desconforto ao operador.

O pH para o fluido sintético Agecool 939/HD não apresentou nenhuma necessidade de correção durante o transcorrer do ensaio.

3.5.2 Determinação da Vazão de fluido através do canal da broca.

A determinação da vazão foi feita através de um dispositivo muito simples. Utilizou-se um container graduado de 5 litros e um cronômetro. A medição da vazão foi obtida da seguinte maneira: o container foi posicionado embaixo da broca e a refrigeração interna era acionada.

Neste instante o cronômetro era disparado. Determinava-se o volume de fluido para um tempo de 10 segundos. Findo o tempo, a refrigeração era desligada. Aguardava-se alguns minutos para completa eliminação do ar, incorporado devido á alta pressão da bomba (70 bar), e efetuava-se a leitura.

Foram realizadas 5 medições para cada fluido e o valor obtido foi de 212 L/min. Não houve variação da vazão com a troca do fluido. Os dois tipos apresentaram o mesmo resultado.

3.5.3 Procedimento de Troca das Emulsões.

Os ensaios de furação foram iniciados com fluido emulsionável. Ao término desta etapa, o tanque de emulsão já apresentava grave contaminação por colônias de bactéria. A Figura 20 apresenta uma vista parcial do tanque ao término dos ensaios. Pode-se observar a existência de material microbiológico em grande quantidade.

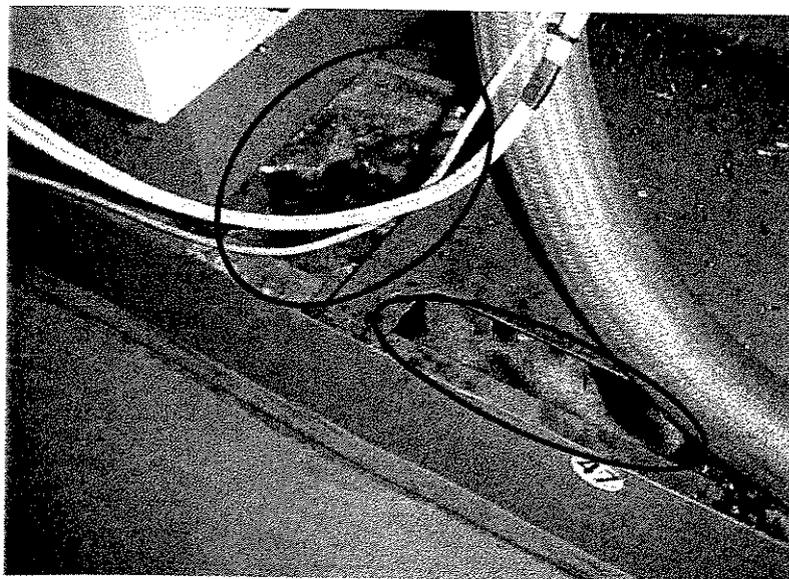


Figura 20- Contaminação da Emulsão por Bactérias e Fungos.

Devido à alta contaminação, foi seguido um procedimento de limpeza e esterilização do tanque e das partes de circulação do fluido lubrorefrigerante:

- Foi adicionado um bactericida, no tanque de emulsão, na concentração de 5000 ppm, um dia antes da remoção do fluido. Este procedimento tinha por objetivo a eliminação dos focos de microorganismos.
- Esta mistura foi circulada durante 2 horas, tempo ideal para reação do bactericida com os microorganismos fixados em todo o sistema de refrigeração. Foram acionados os sistemas de refrigeração interna e nos bicos.
- No dia seguinte, toda emulsão foi retirada.
- Os sistemas foram desconectados e o tanque de emulsão foi removido para fora da máquina.
- O tanque foi lavado e toda a sujeira depositada foi removida. Utilizou-se um detergente bactericida para auxiliar esta fase do procedimento.
- O piso, embaixo do tanque, foi limpo, pois existia depósito de emulsão já degradada.
- O tanque foi colocado no lugar novamente e os sistemas foram religados.
- A solução de fluido sintético foi preparada colocando-se água no tanque e completando-se com a quantidade especificada de fluido sintético até se obter a concentração de 5%.
- A solução circulou por 30 minutos a fim de se obter completa homogeneização.

Este procedimento, acima descrito, assegurou que os testes realizados com o fluido sintético não foram alterados pela contaminação do fluido emulsionável.

Capítulo 4

Análise Experimental

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para os dois fluidos lubrorefrigerantes testados, para as seguintes variáveis de saída: potência de corte, força de avanço, momento torsor, circularidade, cilíndricidade, variação do diâmetro, rugosidade e desgaste de flanco das arestas de corte da ferramenta (V_B).

As condições de corte em todos os ensaios foram mantidas nos seguintes parâmetros:

- Diâmetro das Brocas: 10 mm
- Frequência de giro fixada em 1250 min^{-1} .
- Avanço por rotação de 0,11 mm.
- Profundidade dos furos de 20 mm (duas vezes o diâmetro das brocas).

- Velocidade de Corte de 40 m/min.
- Critério de fim de ensaio por comprimento usinado (L_f) igual a 2160 mm.
- Furos em cheio, sem pré-furo e não passantes, de passe único.
- Concentração dos Fluidos de Corte utilizada foi de 5% .
- Refrigeração interna.

Todos os parâmetros foram levantados repetindo-se por duas vezes a seqüência de furação.

Os pontos obtidos e, posteriormente plotados em gráfico, são resultado de uma média dos valores obtidos em cada um dos ensaios.

4.1 Resultados obtidos para a Potência de Corte:

Para a obtenção dos dados referentes á potência de corte, as tomadas foram realizadas furo-a-furo, excetuando-se aqueles que foram direcionados ao corpo de prova preso no dinamômetro. A Figura 21 mostra os resultados obtidos.

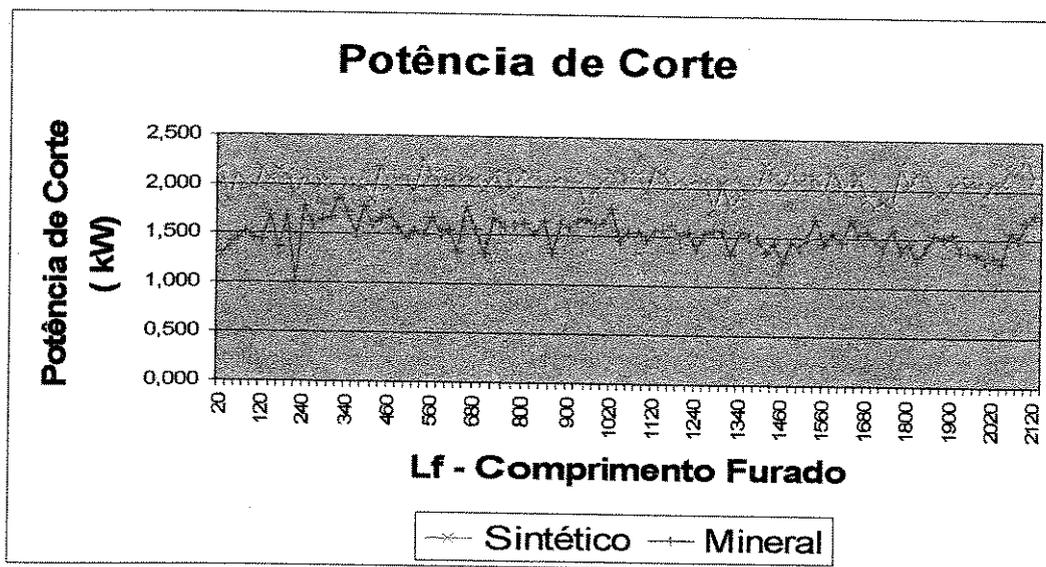


Figura 21- Resultados para a potência de corte em função do comprimento furado nos dois sistemas de lubrefrigeração.

Pelo resultado obtido conclui-se que a potência consumida para o sistema lubrefrigerante do tipo sintético foi maior. A potência média obtida para os ensaios com emulsão foi de 1,523 kW, enquanto que a potência média registrada para o sistema sintético foi de 2,047 kW. Portanto, houve um acréscimo de 34,41% na potência média comparando-se os dois sistemas de lubrefrigeração.

4.2 Resultados obtidos para a Força de Avanço:

As medidas de força de avanço foram tomadas em intervalos de 8 furos, ou melhor, a cada 160 mm de comprimento furado. A Figura 22 mostra o comportamento deste parâmetro para os dois sistemas lubrorefrigerantes.

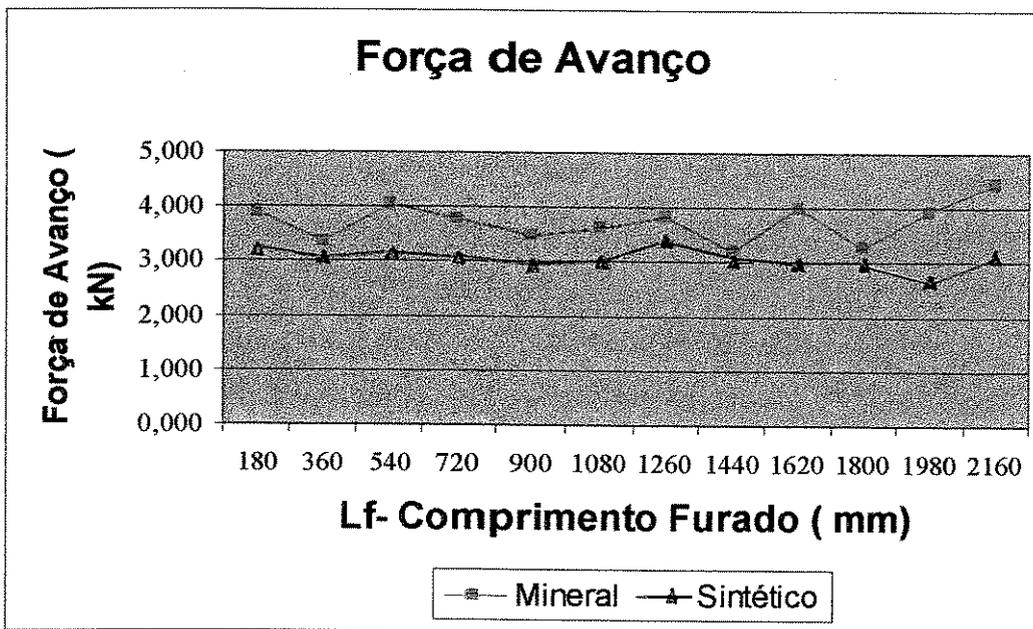


Figura 22 – Resultados obtidos para a força de avanço em função do comprimento furado para os dois tipos de fluidos.

O resultado aponta que o sistema sintético proporcionou Forças de Avanço menores que o sistema emulsionável. Além disso, observa-se que a variação da força de avanço entre o primeiro e o último furo obtido no sistema sintético, também resultou em menor valor.

Com Lf igual a 1800 mm a força de avanço do sistema emulsionável apresentou um franco crescimento. Este fato pode evidenciar o fim da vida da ferramenta.

4.3 Resultados obtidos para o Momento Torsor.

Tal como na Força de Avanço, as medidas para o levantamento do Momento Torsor foram tomadas em intervalos de 8 furos, ou a cada 160 mm de comprimento furado. A Figura 23 mostra a tendência deste parâmetro.

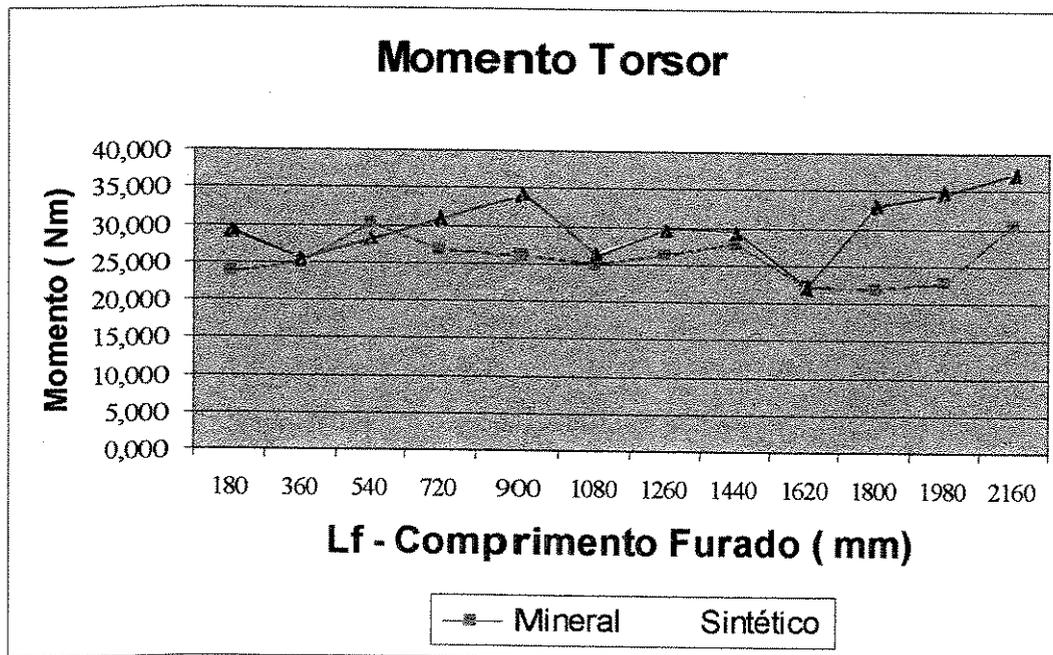


Figura 23 - Resultados obtidos para o momento torsor em função do comprimento furado para os dois tipos de fluidos.

A posição dos furos no corpo de prova fixado no dinamômetro para obtenção do Momento Torsor e Força de Avanço, introduz um erro sistemático na medição do momento, trazendo como consequência uma irregularidade nas medidas.

Nota-se, pelo gráfico acima, uma tendência de crescimento similar à Força de Avanço.

4.4 Resultados obtidos para a Circularidade:

A variação da circularidade dos furos, usinados nos corpos de prova, nos dois sistemas de lubrefrigeração, foi obtida pela diferença entre o ponto máximo e mínimo em um único plano em 3 alturas diferentes. O comportamento deste parâmetro é apresentado na Figura 24.

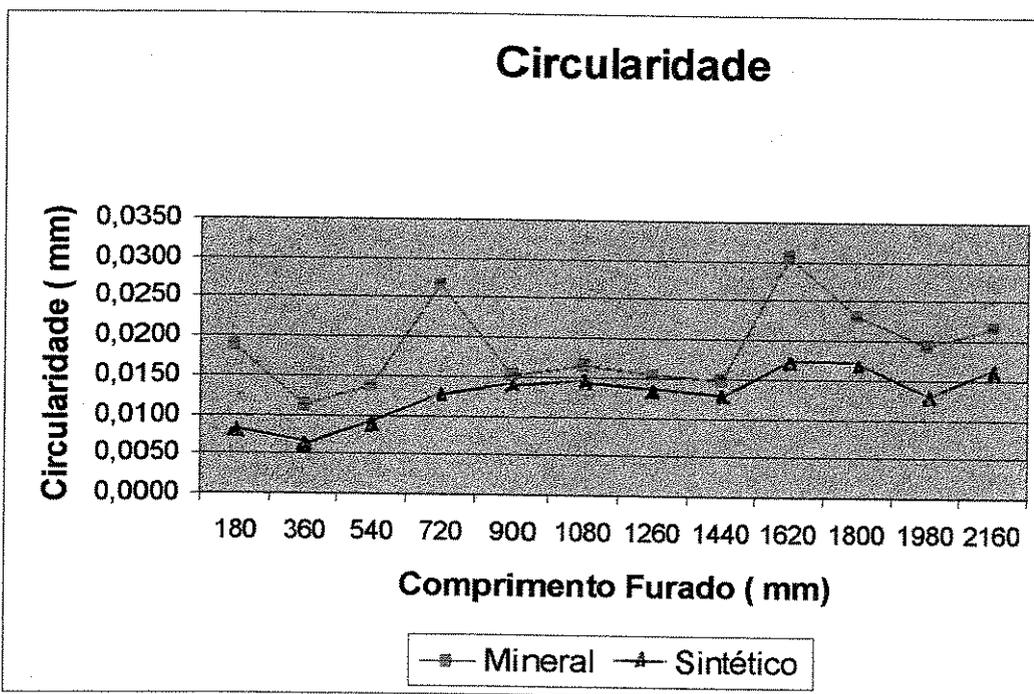


Figura 24 - Resultados obtidos para a circularidade dos furos em função do comprimento furado nos dois sistemas de lubrefrigeração.

Novamente, observamos uma menor variação do parâmetro apresentado no sistema sintético. O sistema emulsionável se apresentou com a mesma tendência do sintético, excetuando-se os pontos de pico.

4.5 Resultados obtidos para a Cilindricidade:

Tal como os outros parâmetros, a cilindridade foi obtida a cada oito furos, ou comprimento furado igual a 160mm. Cada ponto obtido no gráfico representa a diferença entre o maior e o menor círculo obtido no furo em 3 alturas diferentes. A Figura 25 mostra os resultados obtidos.

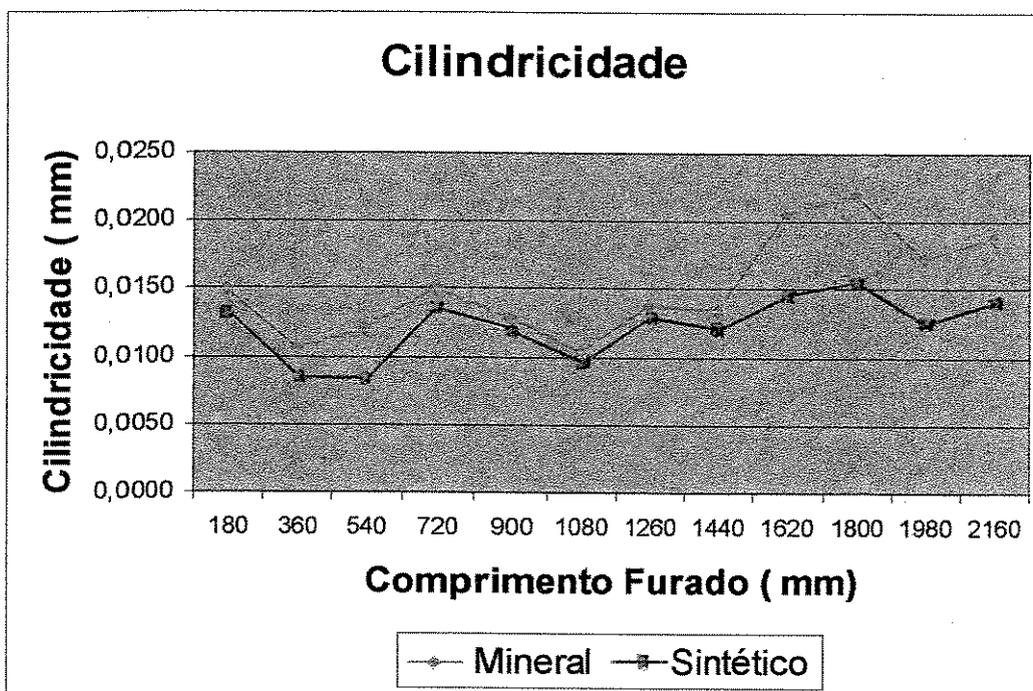


Figura 25 - Resultados obtidos para a cilindridade dos furos em função do comprimento furado para os dois tipos de fluidos.

Os resultados obtidos seguem a mesma tendência de crescimento apresentado pela circularidade.

4.6 Resultados obtidos para a variação do Diâmetro.

A variação do diâmetro com o comprimento furado foi obtida nos furos efetuados nos corpos de prova, com o intervalo de 160mm de comprimento furado. A Figura 26 mostra a evolução desta variação.

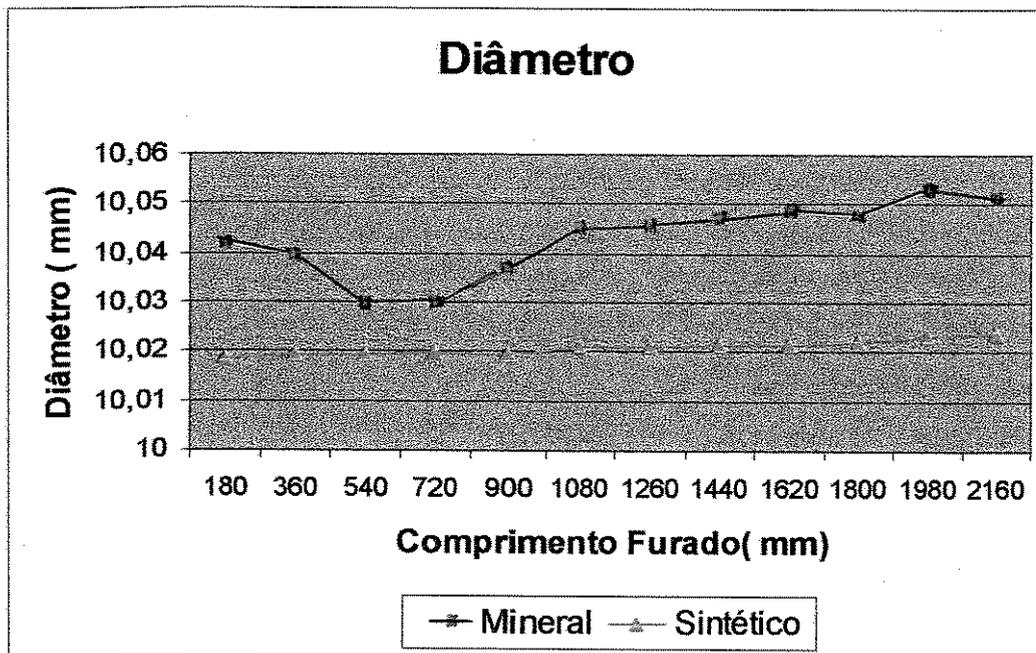


Figura 26 – Resultados obtidos para a variação no diâmetro dos furos nos dois sistemas de lubrorefrigeração.

A variação do diâmetro não mostrou comportamento diferente do encontrado para a cilindricidade e a circularidade. Também neste parâmetro, a variação ocorrida no sistema sintético é menor e tem um comportamento mais estável.

Os diâmetros tiveram variações dentro da tolerância IT8 e IT9 da norma ISO, o que pode ser considerado muito bom resultado para as condições de usinagem dos ensaios.

4.6 Resultados Obtidos para a Rugosidade.

Os dados aquisitados para o levantamento do comportamento da rugosidade durante o processo de furação foram obtidos nos furos usinados no corpo de prova. Portanto, o mesmo método utilizado para os parâmetros antes analisados com exceção da potência de corte. A Figura 27 mostra os valores obtidos.

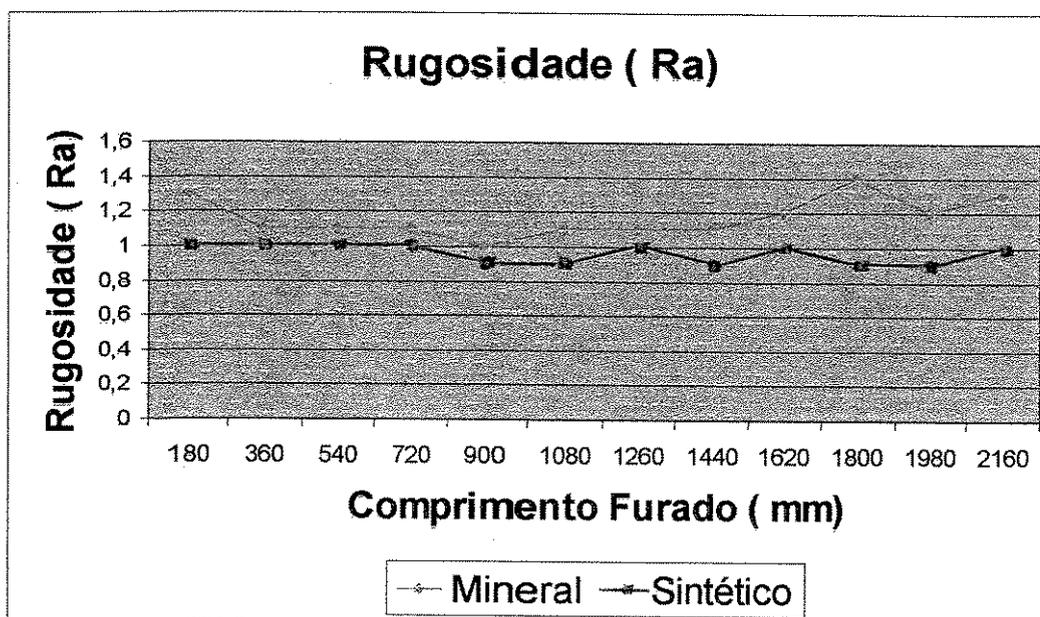


Figura 27 - Resultados obtidos para a rugosidade dos furos obtidos em função do comprimento furado para os dois sistemas de lubrefrigeração.

Para a Rugosidade (Ra), determinada em μm , houve diferença significativa entre os dois sistemas de lubrefrigeração. A rugosidade média encontrada para o sistema mineral foi de 1,17 μm e para o sistema sintético foi de 0,96 μm .

4.7 Resultados obtidos para o Desgaste de Flanco das arestas de corte da ferramenta (V_B).

A evolução do Desgaste de Flanco (V_B) em função do comprimento furado foi obtido nos furos efetuados nos corpos de prova, com o intervalo de 320mm de comprimento furado. Portanto, o dobro do comprimento em relação às medidas anteriores. Foram medidas as arestas dos dois lados da broca, e, os valores utilizados para a avaliação da evolução do desgaste foram a média dos desgastes nas duas arestas. A Figura 28 mostra a evolução desta variação.

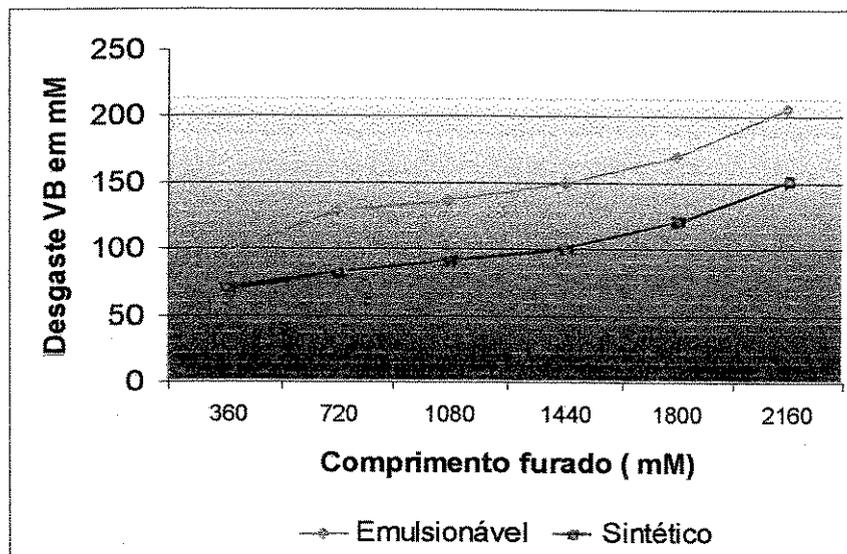


Figura 28 – Evolução do desgaste V_B em função do comprimento furado para os dois fluidos utilizados.

O resultado acima obtido é coerente com o comportamento dos parâmetros força de avanço e momento torsor. O que vem reiterar que os mesmos são boas variáveis para o monitoramento da vida da ferramenta.

A evolução do desgaste de flanco das arestas no sistema emulsionável foi de 37.8% maior que o medido no sistema sintético.

Capítulo 5

Resultados e Discussões

5.1 Análise dos resultados obtidos para a Potência de Corte:

Pelo gráfico obtido, Figura 21, conclui-se que a potência consumida para o sistema lubrorefrigerante do tipo sintético foi maior. Houve um acréscimo de 34,41% na potência média comparando-se os dois sistemas de lubrorefrigeração.

Este fato pode ser entendido como sendo uma consequência direta do alto poder de refrigeração dos sistemas sintéticos. Segundo Sales (1999), os fluidos de corte podem ser classificados segundo seu poder refrigerante na seguinte ordem crescente: integral, emulsionável, água e sintético. Em um experimento realizado para levantar o poder de resfriamento de um corpo de prova de 300 °C até a temperatura ambiente, o fluido sintético levou 11 vezes menos tempo que a condição a seco para trazer a temperatura do corpo de prova ao nível da temperatura ambiente. O óleo integral levou quatro vezes mais tempo que o sintético, o emulsionável 2,5 vezes mais, e a água cerca de 60% mais tempo do que o óleo sintético para fazer a mesma operação de refrigeração.

Sendo assim, no ensaio realizado com o fluido sintético, concluiu-se que a temperatura da superfície já estava sendo resfriada vigorosamente antes da obtenção do furo devido à refrigeração pelo centro da broca, em alta pressão, que alcançava a placa de teste.

Este intenso resfriamento faz com que a tensão de cisalhamento no plano primário não decresça, pois não há uma elevação acentuada da temperatura, tal como ocorre com outros meios de lubrorefrigeração, exigindo assim uma maior potência do motor para que a broca comece a furar. Este conceito fica claro durante todo o processo, como registrado na Figura 21. Inclusive, este fato fica bem evidente no primeiro furo, onde a potência obtida para o sintético foi maior que 2,00 kW e no sistema emulsionável ficou bem inferior a 1,5 kW.

Ao se jorrar o fluido na placa antes do início do corte, esta sofre um resfriamento mais rápido no sistema sintético, requerendo uma potência maior do motor para o processo de furação.

Outra avaliação que podemos fazer do gráfico da potência de corte, Figura 21, é que o sistema emulsionável apresentou uma oscilação de 40 % comparando-se os valores extremos obtidos entre os dois sistemas. Os valores mínimos e máximos obtidos para os sistemas foram:

- Emulsionável: de 1,00 até 1,400 kW.
- Sintético: de 1,700 até 2,400 kW.

Portanto, podemos concluir que no sistema emulsionável o motor foi mais requisitado, apesar da potência ser mais baixa. Esta oscilação, se levada a extremos, pode gerar diminuição da vida útil do mesmo.

Não se pode concluir que o monitoramento da potência leva a uma medida clara do final de vida da ferramenta. Todos os outros parâmetros monitorados mostram uma depreciação da aresta por volta de 1800 mm de comprimento furado (L_f). No caso da potência de corte este valor não fica muito claro, principalmente no sistema emulsionável, onde aparece uma leve queda da potência. O maior consumo de potência para o sistema sintético ocorreu no penúltimo furo e no sistema emulsionável no comprimento cortado de 300mm.

5.2 Análise dos resultados obtidos para a Força de Avanço:

Durante o processo de furação verificam-se as seguintes resistências à penetração da broca:

- A: devido ao corte do material nas duas arestas principais de corte.
- B: devido ao corte e ao esmagamento do material na aresta transversal de corte.
- C: devido ao atrito das guias com a parede do furo e entre a superfície de saída da broca e o cavaco.

Uma broca helicoidal durante o corte é submetida principalmente a esforços de torção, gerados pela rotação da ferramenta, e a esforços de compressão devido ao avanço da mesma. Portanto, o Momento Torsor e a Força de Avanço são variáveis importantes para se avaliar os esforços gerados em um processo de furação.

A verificação do desgaste das duas arestas principais da broca foi realizada durante os ensaios, e não foi detectada uma diferença significativa no desgaste de cada lado. Sendo assim, podemos inferir que as arestas estavam igualmente afiadas. Portanto, o esforço de corte foi igual nas duas arestas.

Dado os três geradores de esforços que estão atuando durante o processo de furação, tem-se que a Força Total de Avanço é:

$$F_{total} = F_{fA} + F_{fB} + F_{fC}$$

Segundo Ferraresi, 1977, a participação percentual de cada uma dessas grandezas varia entre os valores relacionados na Tabela 8.

Tabela 8: Participação percentual de três grandezas na força total de avanço

	Aresta Principal	Aresta Transversal	Atritos
Força de Avanço	39% - 59 %	40% - 58%	2% - 5%
Momento Torsor	77% - 90%	3% - 10%	3% - 13%

Sendo assim, para se avaliar a Força de Avanço deve-se levar em conta a participação da Aresta Transversal de Corte que causa principalmente esmagamento do cavaco e encruamento do fundo do furo.

No experimento realizado, ao se remover a broca para análise no microscópio, algumas vezes, havia uma camada de material aderido à aresta transversal de corte. Este fato se deve à tendência do aço inoxidável formar aresta postiça de corte. Não houve predominância deste fenômeno em um dos sistemas de lubrefrigeração.

No gráfico da Força de Avanço, Figura 22, fica nítida a degradação da ferramenta a partir de 1800mm de comprimento furado, onde a curva apresenta um crescimento constante. No sistema sintético este fenômeno não aparece. Os resultados obtidos levam a conclusão de que, no sistema sintético, o esmagamento do material no fundo do furo foi menor.

Tal como os resultados obtidos para a Potência de Corte, a variação da Força de Avanço no sistema sintético foi 25% menor que o sistema emulsionável, por outro lado, os valores absolutos obtidos pelo sistema sintético foram menores. O intervalo de variação dos resultados obtidos para cada tipo de lubrorefrigerante foi:

- Emulsionável: 3,5 kN – 4,5 kN
- Sintético: 2,7 kN – 3,5 kN

Dos dados acima descritos nota-se que o valor máximo obtido para a Força de Avanço do sistema sintético é igual ao valor mínimo da variável no sistema emulsionável.

Os cavacos obtidos tinham forma contínua e uniforme, própria do cavaco helicoidal, não apresentando rupturas ou sinais de queima.

5.3 Análise dos resultados obtidos para o Momento Torsor.

Da Tabela 8 temos que o Momento Torsor é influenciado principalmente pela aresta principal da broca helicoidal, gerado pelo movimento de rotação durante a operação de furação.

Tal como a Potência de Corte, o Momento Torsor do sistema sintético foi maior do que o obtido para o sistema emulsionável, além de apresentar uma maior variação. Este comportamento já era esperado dada a relação entre o Momento Torsor e a Potência de Corte, descrita abaixo:

$$P_c = \frac{2 \times M_T \times V_c}{D \times 60 \times 1000}$$

A partir do comprimento de corte igual a 1800mm as curvas obtidas para o Momento Torsor, Figura 23, e Potência, Figura 21, para o sistema sintético tem o comportamento muito parecido.

Como já citado anteriormente, a posição dos furos no corpo de prova utilizado no dinamômetro para obtenção do Momento Torsor, introduz um erro sistemático na medição, trazendo como consequência uma irregularidade nas medidas.

O monitoramento do Momento Torsor não foi ideal para medir o fim de vida da ferramenta.

5.4 Análise dos resultados obtidos para a Circularidade.

A alta capacidade de refrigeração do sistema lubrorefrigerante do tipo sintético explica a menor variação dimensional na circularidade dos furos obtidos. Ambos sistemas obtiveram a menor variação para a circularidade no comprimento furado de 360mm, e o mesmo se repete para a máxima variação, obtida em ambos sistemas, no comprimento furado de 1620. Este valor de L_f (1620 mm) é exatamente o mesmo que mostra o início da degradação da aresta transversal no gráfico obtido para a Força de Avanço.

Novamente, na Figura 24, nota-se que a variação da Circularidade obtida no sistema sintético é menor, mas que ambas curvas têm a mesma tendência.

5.5 Análise dos resultados obtidos para a Cilindricidade.

Os resultados obtidos para a variável Cilindricidade, demonstrados na Figura 25, têm o comportamento muito semelhante ao obtido para a Circularidade. A justificativa, portanto, é a mesma: devido ao alto poder de refrigeração do sistema sintético, a variação desta medição neste sistema é menor que o apresentado pelo sistema emulsionável.

Porém, neste gráfico, Figura 25, fica bem claro o momento da degradação da aresta no sistema emulsionável, com franco crescimento da curva a partir do comprimento furado de 1620mm. O que não acontece no outro sistema.

Este fato permite que se deduza que a broca utilizada no sistema sintético poderia continuar furando sem perda de qualidade quanto a Cilindricidade dos furos obtidos.

5.6 Análise dos resultados obtidos para o Diâmetro:

Os resultados obtidos para a variação do Diâmetro com o comprimento furado mostram mais uma vez o efeito de alta refrigeração do sistema sintético. Isto porque, a curva obtida para o este sistema, Figura 26, é quase uma reta.

O Diâmetro máximo obtido, neste sistema de lubrorefrigeração, foi de 10,0240 mm, após 2160 mm de comprimento furado. Este valor é inferior ao valor obtido na primeira medida desta variável para o sistema emulsionável, 10,0294mm para um comprimento furado de 180mm.

Os intervalos de variação mínimo e máximo obtidos foram, respectivamente:

- Emulsionável: 10,0294 mm até 10,0529 mm.
- Sintético: 10,0183 mm até 10,0240 mm.

Não houve contração dos furos obtidos em nenhum dos sistemas, pois ambos foram capazes de remover o calor gerado durante a operação e o resultado não foi alterado pela dilatação térmica. Os diâmetros obtidos resultaram em variações dentro da Tolerância IT8 e IT9 da norma ISO, valores além da expectativa deste ensaio. Finalmente, a degradação da aresta de corte da broca não causou mudança significativa para a variação do Diâmetro.

5.7 Análise dos resultados obtidos para a Rugosidade:

A Rugosidade média (R_a) é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação á linha média, dentro do percurso de medição (l_m). A Figura 29 representa esquematicamente um perfil para medida da Rugosidade média.

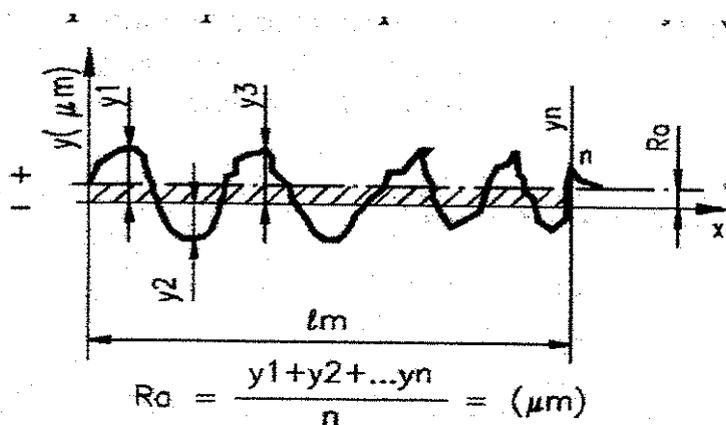


Figura 29 - Representação do cálculo da Rugosidade Média (R_a)

No experimento, a rugosidade foi determinada através da média de dois valores defasados em 180° . Pela Norma NBR 8404/1984 de indicação do Estado de Superfície indica que a classe de rugosidade obtida para o ensaio foi de N7 (Classe de Rugosidade – Grade) para ambos os sistemas. O valor obtido pode ser considerado muito bom, visto que para o processo realizado pode-se aceitar até N8.

Observa-se que houve diferença significativa entre os dois sistemas de lubrorefrigeração. A rugosidade média encontrada para o sistema mineral foi de $1,17 \mu m$ e para o sistema sintético foi de $0,96 \mu m$. Também neste ponto de avaliação, tal qual nos outros parâmetros, o sistema sintético apresentou uma menor diferença entre o maior e o menor valor obtido para a rugosidade.

5.8 Análise dos resultados obtidos para o Desgaste de Flanco das arestas de corte da ferramenta (V_B).

Denomina-se vida da ferramenta o tempo que a mesma trabalha efetivamente, até perder sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido. Atingido este tempo, a ferramenta deve ser substituída. Logo, a vida da ferramenta é o tempo entre duas trocas sucessivas necessárias, na qual ela trabalha efetivamente (Novaski, 1997).

A progressão do desgaste é influenciada principalmente pela velocidade de corte devido ao aumento de energia (calor) que acontece no plano de cisalhamento primário e na interface ferramenta-peça, especialmente na zona de fluxo.

A remoção do calor gerado na zona de cisalhamento primário pode ter pouco efeito na vida ou performance da ferramenta, isto porque é muito mais significativo o calor gerado próximo da interface ou nela própria (interface). Este fato se torna relevante quando esta fonte de calor é uma delgada zona de fluxo aderida à ferramenta.

O fluido lubrorefrigerante não consegue agir diretamente na zona delgada, que é a fonte de calor, mas age removendo o calor das superfícies do cavaco, da peça e da ferramenta. Logo, se este calor gerado for rapidamente removido, a vida da ferramenta tende a aumentar.

Isto posto, quanto maior a velocidade de remoção deste calor, ou em outras palavras, quanto maior a capacidade de resfriamento das partes envolvidas no processo, maior o tempo de vida da ferramenta.

Como já descrito no Capítulo 1, os aços inoxidáveis do tipo austenítico apresentam baixa usinabilidade devido a: baixa condutividade térmica, alto coeficiente de atrito e alto coeficiente de dilatação térmica. As duas primeiras propriedades levam a um aumento do calor gerado na operação que causa danos à peça devido justamente à terceira propriedade.

Sendo assim, novamente, pode-se aqui empregar o conceito de que: quanto maior a capacidade de remoção do calor gerado, menor o desgaste da ferramenta que usina o aço inoxidável e maior a integridade das peças geradas.

Na utilização de ferramentas de metal duro com cobertura, o desgaste de cratera é muito pequeno, podendo até ser desprezado. Já o desgaste de flanco progride lentamente, devido às altas resistências oferecidas pelas camadas de revestimento. A cobertura de Nitreto de Titânio(TiN) tem a capacidade de reduzir o atrito entre a ferramenta e o cavaco, e apresenta boa resistência à tendência de difusão com aços.

Utilizando-se todos os conceitos acima expostos, fica claro por que o sistema sintético teve um melhor desempenho para a usinagem de furos em aço inox austenítico utilizando-se brocas revestidas com TiN. A boa performance é gerada, principalmente, devido ao alto poder refrigerante do fluido sintético, que tem maior capacidade de remoção de calor. Este fato influenciou diretamente a vida da ferramenta.

A Figura 28 mostra que em ambos os sistemas a vida das brocas ainda não estava no fim, pois ficaram abaixo do valor de 0,25 mm para o desgaste V_B .

Capítulo 6

Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

6.1 Conclusões:

A partir da análise comparativa dos resultados obtidos para o sistema sintético e para o sistema emulsionável, tem-se que:

- 1) O fluido de corte do tipo sintético apresentou melhores resultados para a força de avanço, circularidade, cilindridade, variação do diâmetro e principalmente para o desgaste de flanco. Esta última variável é significativa para que o comprimento de corte seja aumentado em consequência do aumento da vida útil da ferramenta devido ao baixo desgaste da aresta. Portanto, para o corte de aço inox com fluido sintético, tem-se mais tempo de corte para a mesma ferramenta e mesmos parâmetros de usinagem.
- 2) O fluido de corte emulsionável apresentou bom desempenho somente no consumo de energia, devido á menor média obtida nos dois sistemas, para a potência de corte.

- 3) As variáveis dimensionais dos furos obtidos no sistema sintético apresentaram menores variações ao longo do comprimento furado. Este resultado é devido principalmente ao grande poder de refrigeração deste sistema que diminuiu o desgaste da aresta principal de corte da broca e não permitiu que houvesse variação dimensional por superaquecimento. Obtendo-se assim, furos com menores variações dimensionais.
- 4) Como não houve diferença na rugosidade obtida nos dois sistemas, conclui-se que as características lubrificantes da emulsão ou as propriedades refrigerantes da solução sintética não resultaram em ganho na rugosidade devido á mudança do sistema de lubrorefrigeração.
- 5) Apesar do aço inoxidável 304 ter alta tendência á formação de aresta postiça de corte, esta propriedade não causou influência nos resultados obtidos com o fluido sintético, comprovados pela qualidade dos furos obtidos.
- 6) Como o sistema emulsionável precisou de duas adições de bactericida, totalizando 8000 ppm, ficou evidenciando uma significativa redução da vida da emulsão devido a menor resistência desta ao crescimento microbiológico. Certamente, sem estas adições, a permanência do operador junto da máquina seria um trabalho muito desconfortável devido ao forte odor que este tipo de emulsão exala quando da degradação microbiológica, além da alta probabilidade de causar irritação na pele do usuário.
- 7) Além do fato acima citado, a não adição de bactericida poderia levar á separação da emulsão em duas fases, uma de óleo e outra de água, que provocaria graves distorções aos resultados aquisitados e medidos durante o teste. Gerando assim, a necessidade de troca da emulsão.

- 8) Como no sistema sintético a adição de bactericida não foi necessária, conclui-se que a maior estabilidade frente ao crescimento microbiológico leva a redução de interferências no tanque e conseqüentemente uma redução do custo de manutenção deste sistema quando comparado com o emulsionável.
- 9) A operação de limpeza do tanque e periféricos da máquina operatriz quando da troca dos sistemas de lubrefrigeração foi muito onerosa exigindo algumas horas para sua completa realização, além do consumo dos produtos para a higienização e desinfecção da mesma. Sendo assim, conclui-se que o sistema sintético, por ter maior estabilidade ao crescimento microbiológico, leva a uma redução do tempo de máquina parada para limpeza.
- 10) Devido a maior resistência frente ao crescimento microbiológico do fluido sintético, outro fator importante a ser observado, é a diminuição da quantidade de material que é enviado para o tratamento e posterior descarte. Portanto, este sistema apresentou uma característica extremamente favorável que é a menor geração de resíduos. Esta propriedade favorece o atendimento às atuais exigências ambientais em relação á geração de resíduos que são enviados para tratamento. Ao se diminuir esta geração diminui-se também os custos com o tratamento dos mesmos.
- 11) Conclui-se, portanto que, o sistema sintético apresentou melhores resultados quanto á qualidade dos furos obtidos, menor número de trocas na unidade de tempo devido ao aumento da vida útil da ferramenta, redução na quantidade de horas paradas para limpeza da máquina, redução da geração de resíduos para tratamento e descarte, e preservação da saúde do operador.

6.2 Sugestões para os próximos trabalhos.

- 1) A realização de novos ensaios com uma velocidade de corte maior para estudar o comportamento do desgaste da aresta transversal de corte da broca.
- 2) Manter os parâmetros de corte e determinar quanto maior é a vida da broca no sistema sintético em relação ao emulsionável.
- 3) Variar a concentração do fluido sintético e determinar limites máximos e mínimos para a mesma.
- 4) Testar outras composições de inclusões para o aço inoxidável para determinar se existe uma melhora na usinabilidade.

Referências Bibliográficas

Agena Resinas e Colas Ltda. *Fluido Refrigerante Sintético*. Agecool 939/HD. Especificação Técnica. 2000

ASM International Handbook Committ, *Metals Handbook*, 6.ed., Maio 1991, Cap. 27. Pp. 14-20

Battacharya,D.: *Develops in machinability of Steel*. 1st Internacional Conference on the Behaviour of Materials in Machining, november 8/10, pp.10.1 = 10.7, 1998.

Bennett, A. *The Biology of Metalworking Fluids*. ASLE Lubrification Engineering, v.28, pp 237 – 247. 1972.

Braga, D.U.; Diniz, A.E.; Coppini, N.L.; Miranda, G.W.A. In *Furação de liga de Alumínio Silício utilizando lubrificação por névoa*. Máquinas e Metais. São Paulo. Editora Aranda, n. 413, pp. 104-115, jun.2002.

Castrol Industrial S.A. *Manual de Treinamento- Fluidos de Corte*. Rio de Janeiro,100 p., 1998.

Chandrasekaran, H.; Johansson, J. ° Gunnararsson, S. *Machinability of high austenitic stainless steels and the role of chip flow, material properties and alloy content*. In 3rd International Conference on The Behaviour Of Materials in Machining, november 15/17, Coventry, pp. 56 = 77, 1994

Chandrasekaran, H.; Johansson, J. : *Chip flow and notch wear mechanisms during the machining of high austenitic stainless steels*. Annals of CIRP, vol.43, p.101 = 105, 1994.

Diniz, A. E; Marcondes, F. C. ; Coppini, N. L. *Tecnologia da usinagem dos Materiais*. 2. ed.; Artliber Editora, 1999, Cap. 11, Furação, pp. 1754 =193.

El Baradie, M.A. *Cutting Fluids: Part I = Characterization*. In *Journal of Material Processing Technology*. v. 56 , p.786-797,1996.

El Baradie, M.A. *Cutting Fluids: Part III – Recycling and Clean Machining*. In *Journal of Material Processing Technology*. v. 56 , p.798-806,1996.

Ferraresi,D. *Fundamento da Usinagem dos Metais*. Ed. Edgard Blücher Ltda. SP, 1997

Kuo-Liang,W : *Investigation on the machinability of sulphur free-cutting stainless steel*. 5st Internacional Conference on Production Engineering, Tokio, p.131-136, 1984

Machado, A.R.; Diniz, A.E. – *Corte a seco, com mínima quantidade de fluido e com fluido em abundância: usos, aplicações, vantagens e desvantagens*. In: Usinagem 2000 – Feira de Máquinas e Congresso de Usinagem, São Paulo, 2000.

Mang, T. *Ecological and Cost-Efficient Solutions for Metal Cutting Fluids and Machine Tool Lubrification*, 2000.

- Mang,T. *Die Schmierung in der Metallbearbeitung*. Vogel Verlag. Wuerzburg. Germany, 1983.
- Martin, G.; Ocquidant,G.: *Valima stainless steel hollow barswith improved machinability*. Applications of stainless steel 92, june 9-11, Stockholm, vol.1, p.176-186, 1992.
- May,R.; *Coating for Cutting Tool Applications and Advancements. Proceedings of the 3rdInternational Machinning and Grindding Conference – SME*.pp.847-859. EUA .1999
- Moura, C.R.S.; Carreteiro, R.P. *Lubrificantes e Lubrificação. Parte VI – Produtos e Cuidados Especiais*. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Cap.41 p.379-382, 1975
- Moura, C.R.S.; Carreteiro , R.P. *Lubrificantes e Lubrificação*. JR Editora Técnica, 240 p. 1987,
- Napier, S. ; Rich, K. *Waste Treatability of Aqueous-Based Synthetic Metalworking Fluids*. In ASLE Lubrification Engineering, 1984, vol.41, pp 361 – 365
- Novaski,O. *Usinagem dos Materiais = Conceitos Básicos* .DEF/FEM/Unicamp, S.P, 1997
- Novaski,O. *Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica*. p.103-113, S.P., 1994
- Novaski,O. *Contribuições ao Processo de Furação com Brocas Helicoidais*. Tese de livre docência. Faculdade de Engenharia Mecânica/ Unicamp, 1996
- Pecner,D.; Bernstein,I.N. *Hamdbook of Stainless Steels*. Mc-Graw Hill, Nova York, 1997.
- Pilletteri,Carl , *The Control of Mineral Cutting Systems*, ASLE Lubrification Engineering, 1981, vol.38, pp 622 – 625

Raucher, A. *Ferramentas de Usinagem Revestidas com Nitreto de Titânio depositado pelo Processo PVD*. In Anais do 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Usinagem – SOBRACON, 1990

Rossmoore, L. Rossmoore, H.W.; *Metalworking fluid microbiology. Metalworking Fluids*. Marcel-Dekker, p 247-272, New York, 1994

Runge, P.R.F.; Duarte, G. N. . *Lubrificantes nas Indústrias = Produção, Manutenção e Controle* . Triboconcept Edições Técnicas, pp. 71-171, 1990

Sandvik do Brasil S.A. - *Titex Plus : Precision Cutting Tools Solis Carbide High Performance Drills*. Catálogo Günter & Co GMB , P 243 02 00 E, 1999.

Sandvik Coromant, “*Modern Metal Cutting*”, AB Sandvik Coromant, Sandviken, Suécia, 1994.

Sandvik Coromant, *Usinar bons furos com rapidez é difícil? Não. Isso é mito.* , Mundo da Usinagem, , p. 7 -10, Março 2000

Schey, J.A. *Tribology in Metalworking – Friction, Lubrication and Wear*. ASM American Society for Metals-Cap11- *Metal Removal* – p.573-673. EUA, 1984

Sluhan, W. *The Good, the Bad and the Smelly*. In Cutting Tool Engineering. p.24-32. march, 1998

Tessler, M. et all, *Aços inoxidáveis austeníticos com usinabilidade melhorada*. In Anais do 49º Congresso Anual ABM, 1994, pp 173-187

Trent, E.M. *Metal Cutting* . 3.ed., Butterworths, London, 1989

White, P.E.: *Machining stainless steel*. Proceedings of the conference Tools and Dies for Industry. Metal Society, London, p. 99-104, 1976