



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE BAURU



**BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE
NOS PROCESSOS DE USINAGEM**

Penha Suely de Castro Gonçalves

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia da UNESP – Campus
de Bauru, para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mecânica.**

BAURU – SP

Agosto 2008



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE BAURU



**BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE
NOS PROCESSOS DE USINAGEM**

Penha Suely de Castro Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia da UNESP – Campus
de Bauru, para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mecânica.**

BAURU – SP

Agosto 2008

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amados filhos Carlos Augusto e Ulysses, pela paciência e compreensão nas horas de ausência dedicada a este estudo; ao meu marido Carlos Antônio, amor da minha vida, pelo incentivo para eu poder trilhar o árduo caminho da realização de um sonho e, especialmente, à minha querida e sábia mãezinha Djanira, que desconhecendo o significado das letras, desde cedo me fez ver o valor do conhecimento adquirido por meio dos estudos. A todos eles, por todo amor e carinho que sempre me dedicaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pela vida, pela espiritualidade que me fortalece em todos os momentos e por me dar forças para realizar este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi que me ofereceu a oportunidade para a realização deste trabalho. Graças à sua permanente confiança, orientação e amizade foram possíveis os passos que me levaram a encontrar o meu caminho de pesquisa e concluir esta dissertação de mestrado.

Agradeço Co-orientador Prof. Dr. Paulo Roberto de Aguiar pela clareza de suas aulas e percepção do valor do aluno diante de suas dificuldades.

Agradeço Prof. Dr. João Cândido que por meio de suas aulas esclarecedoras me ajudou a dar os primeiros passos para trilhar a difícil arte de pesquisar.

Agradeço Prof. Dr. Yukio pela dedicação e maestria nas aulas ministradas e pelas palavras de incentivo ao longo do curso.

Agradeço aos Mestres do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica que compartilharam suas experiências e conhecimentos e contribuíram para a minha aprendizagem e crescimento profissional e pessoal.

Agradeço aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Agradeço aos colegas de classe, pelo bom humor, companheirismo e cordialidade ao longo do curso.

Agradeço, especialmente, às funcionárias da Biblioteca da UNESP pela atenção e cordialidade no atendimento e orientação para utilização do Banco de Dados, atitudes fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista – UNESP, em especial ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Bauru, pela oportunidade de ingressar como aluna especial e ser aceita para cursar este Mestrado.

Agradeço aos líderes da Empresa SPAIPA S/A Indústria Brasileira de Bebidas, por incentivarem seus colaboradores a buscar desenvolvimento profissional e pessoal.

Agradeço, especialmente e sempre, à minha família pelo amor incondicional, pela paciência nas horas de ausência dedicada a este estudo, por me compreender e motivar na busca de minhas realizações e por ser a razão de meus atos, de meus desejos, de minha vida.

A todas as demais pessoas que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

EPÍGRAFE

"A cada dia, a natureza produz o suficiente para suprir nossas carências. Se cada um tomasse a porção que lhe fosse necessária, não haveria pobreza, guerras, e no mundo todo ninguém mais morreria de inanição".

Gandhi

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	IV
EPÍGRAFE	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XII
RESUMO.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Estrutura do trabalho	4
 2. OS FLUIDOS DE CORTE	 5
2.1 Definições dos fluidos de corte	5
2.2 Principais funções dos fluidos de corte	6
2.3 Tipos de fluidos de corte, suas características e propriedades	8
2.3.1 Fluidos de corte puros ou integrais	12
2.3.1.1 Óleo mineral puro	13
2.3.1.2 Óleo graxo	14
2.3.1.3 Misturas de óleo mineral e óleo graxo	15
2.3.2 Fluidos solúveis em água	18
2.3.2.1 Óleos Emulsificáveis ou Emulsões	20
2.3.2.2 Fluidos químicos ou sintéticos	22
2.3.2.3 Fluidos semi-sintéticos	25
2.3.3 Gases como fluídos de corte	26
2.3.4 Pasta e lubrificantes sólidos	27
2.3.5 Fluidos de corte biodegradáveis	28
2.4 Aspectos que influenciam a vida útil dos fluidos de corte	29
2.4.1 Aspectos tecnológicos na utilização dos fluidos de corte	29
2.4.2 Métodos de manuseio e perdas no processo	31
2.4.3 Influência da qualidade da água	31
2.4.5 Influência da concentração da solução e da variação do pH	33
2.4.6 Influência da degradação microbiológica	34
2.4.7 Contaminantes inerentes ao processo e de origem externa.....	36

3. A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL, OS FLUIDOS DE CORTE E SUAS

INTEIRAÇÕES COM O MEIO AMBIENTE.....	38
3.1 A crise ambiental e os fluidos de corte	38
3.2 Os resíduos e a poluição ambiental.....	41
3.3 O Processo de conscientização ambiental	43
3.3.1 Principais Conferências Internacionais sobre o Meio Ambiente	43
3.3.2 A Convenção sobre Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos – A Convenção da Basileia –1989	44
3.3.3 A Agenda 21, os conceitos de tecnologias limpas e a política dos 3 Rs	45
3.4 O meio ambiente e a Constituição Brasileira	49
3.5 A legislação ambiental e a definição de meio ambiente	50
3.6 A legislação ambiental federal	51
3.7 A legislação ambiental no Estado de São Paulo	53
3.8 A legislação ambiental no Município de Bauru	55
3.9 Obrigações e sanções legais no manuseio de resíduos perigosos	57

4. ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE.....

4.1 Aspectos e impactos ambientais na utilização dos fluidos de corte.....	61
4.1.1 Aspectos toxicológicos.....	65
4.1.2 Resíduos Perigosos.....	67
4.1.3 Emissões atmosféricas	68
4.2 Principais impactos ambientais na utilização de fluidos de corte.....	70
4.2.1 Efeitos adversos à saúde e à segurança do trabalhador	71
4.2.2 Efeitos adversos no transporte dos fluidos de corte	73
4.2.3 Efeitos adversos no descarte.....	73
4.2.4. Medidas de prevenção à poluição por fluidos de corte	74

5. BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE 76

5.1 Gestão ambiental.....	76
5.2 Normas da gestão ambiental	77
5.3 Metodologias de gestão ambiental	79
5.4 Produção mais Limpa (P+L)	80
5.5 Boas práticas ambientais, indicadores de desempenho e benchmarking ambiental.	83
5.6 Boas práticas ambientais no gerenciamento dos fluidos de corte	84
5.6.1 Selecionar com visão ambiental	86
5.6.2 Reduzir na fonte o consumo dos fluidos de corte	88
5.6.2.1 Monitoramento, manutenção e prolongamento da vida útil.	89
5.6.2.1.1 Estocagem.....	89
5.6.2.1.2 Preparação do fluido de corte	89
5.6.2.1.3 Concentração do fluido de corte	90
5.6.2.1.4 Controle do pH, acidez e alcalinidade.....	90
5.6.2.1.5 Controle Microbiológico e a utilização de biocidas.....	91
5.6.3 Reusar os fluidos de corte (Reciclagem interna)	92
5.6.3.1 Sedimentação.....	94
5.6.3.2 Flotação	95
5.6.3.3 Filtração	95
5.6.3.4 Centrifugação	97
5.6.3.5 Separação magnética.....	99

5.6.4 Reciclar os fluidos de corte (Reciclagem externa)	102
5.6.5 Tratamento do resíduo e disposição final dos fluidos de corte	104
5.6.5.1 Tipos de Resíduo.....	105
5.6.5.1.1 Resíduo de óleos de corte integrais.....	105
5.6.5.1.2 Resíduo de emulsões e soluções de corte	105
5.6.5.1.3 Composição e descarte dos resíduos sólidos.....	106
5.6.5.2 Métodos de tratamento de emulsões e soluções de corte	106
5.6.5.2.1 Métodos mecânicos	107
5.6.5.2.2 Métodos químicos e físico-químicos	108
5.6.5.2.3 Métodos térmicos.....	109
5.6.5.2.4 Métodos biológicos	109
6. REDUZIR, REUSAR, RECICLAR - O PRINCÍPIO DOS 3RS NA UTILIZAÇÃO DE FLUÍDOS DE CORTE NOS PROCESSOS DE USINAGEM.....	110
6.1 Hierarquia no gerenciamento de resíduos	110
6.2 O princípio dos 3Rs na utilização dos fluidos de corte.....	111
6.2.1 Primeiro R - REDUZIR.....	111
6.2.1.1 Redução na fonte mediante modificação no produto fluido de corte	112
6.2.1.2 Redução na fonte mediante substituição de matérias-primas que entram no processo	113
6.2.1.3 Redução na fonte mediante modificação de tecnologia – novas tecnologias para aplicação dos fluidos de corte	114
6.2.2 Segundo R – REUSAR – Reciclagem interna	117
6.2.3 Terceiro R – RECICLAR - reciclagem externa ou reciclagem fora do processo	118
6.3 O princípio dos 3Rs e a P+L na utilização dos fluídos de corte	120
6.4 P+L CASO DE SUCESSO: Reuso de óleos e emulsões na indústria mecânica	120
6.5 Identificando os 3Rs como base para a P+L na utilização dos fluidos de corte em processos de usinagem	122
7 CONCLUSÕES	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos fluidos solúveis em água (EL BARADIE, 1996; adaptada).	19
Figura 2 Biofilmes formados em uma indústria de usinagem de metais (CAPELLETTI, 2006)	35
Figura. 3 - Fatores integrantes de um moderno sistema produtivo; adaptada (TEIXEIRA, 1997).	40
Figura 4 – O Planeta Terra e os 3Rs (VICENTE, 2000).	47
Figura 5 - Mudando o paradigma (USEPA, 2002 apud GASI, 2002).	48
Figura 6 - Processos de fabricação poluindo o meio ambiente (SOKOVIC E MIJANOVIC, 2001).	62
Figura 7 - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de retificação (INET, 2000; adaptada).	63
Figura 8 – Efeitos adversos dos fluidos de corte sobre o meio ambiente (IGNÁCIO, 1998).	64
Figura 9 - “Responsabilidade do berço à cova”. Fabricantes conservam a responsabilidade pelo resíduo desde a geração até o descarte (HOWES, 1991; adaptada).	68
Figura 10 Emissões de resíduos de fluidos de corte (ALVES, 2006).	69
Figura 11 Geração e emissão de resíduos em uma indústria metal-mecânica (OLIVEIRA E ALVES, 2007).	71
Figura 12: Evolução das empresas rumo à Produção mais Limpa (CNTL, 2006).	81
Figura 13 – Identificação de oportunidades de PmaisL. (CNTL, 2003)	82
Figura 14 – Cadeia produtiva dos fluídos de corte, desde a sua elaboração até o seu descarte, e sua interação com o meio ambiente. (Runge e Duarte, 1990).	85
Figura 15 – Processos e Equipamentos utilizados para remover partículas dos fluidos de corte (HOWES, TÖNSHOFF E HEUER, 1991; adaptada).	94
Figura 16 - Filtro a gravidade com reservatório e painel elétrico (KABELSCHLEPP DO BRASIL).	96
Figura 17 Filtros a vácuo (KABELSCHLEPP DO BRASIL).	97
Figura 18 - Princípios de uma separadora centrífuga (Browarzik e Krebs, 1990 apud Queiroz, 2001).	98
Figura 19 Separador magnético “Kabelschkepp” contra acúmulos de impurezas em líquidos (KABELSCHLEPP DO BRASIL).	100
Figura 20 – Separador Magnético (TARTEC Indústria e Comércio Ltda).	100
Figura 21 - Filtro a gravidade com separador magnético, reservatório e painel elétrico (KABELSCHLEPP DO BRASIL).	101
Figura 22 - Caçamba basculante para coleta de cavacos de máquinas operatrizes (KABELSCHLEPP DO BRASIL).	101
Figura 23– Filtro a tambor tipo ecológico (TARTEC Indústria e Comércio Ltda).	102
Figura 24 - A hierarquia no gerenciamento de poluentes (CETESB, 2002)	110
Figura 25 Fatores influentes na usinagem a seco (Klocke et al., 1996)	115
Figura 26 - Fresamento a seco (SUPERTEC Usinagem Técnica Industrial apud CNTL, 2006).	115
Figura 27 “– Identificação de oportunidades de PmaisL.- adaptada (CNTL, 2003).	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correlação entre os principais tipos de fluidos de corte e suas principais propriedades e composições (Runge e Duarte, 1990, El Baradie, 1996, Ignácio, 1998, adaptada).....	10
Tabela 2 – Correlação entre as propriedades dos fluidos de corte e a ação desejada (Runge e Duarte, 1990, adaptada).....	11
Tabela 3 – Identificação do óleo de corte como resíduo perigoso (Resolução CONAMA, nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Anexo 1 – B Resíduos Perigosos - Classe I De Fontes Não Específicas (Anexo A Da Nbr-10.004/87, Adaptada).....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

BAT	<i>Best Available Techniques</i> (Melhores Técnicas Ambientais)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEBDS	Centro Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – SP
CFC	Clorofluorcarbono
CNI.	Confederação Nacional da Indústria
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA...	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMS	<i>Environmental Management System</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental)
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Changes</i>
IPPC	Comissão Européia de Controle Integrado e Prevenção da Poluição
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
ML	Mínima Quantidade de Lubrificação
ONGs	Organizações Não Governamentais
PNUMA (ou UNEP)	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
P+L	Produção Mais Limpa
PP	Prevenção Poluição
RCRA	<i>Resource Conservation And Recovery Act</i>
3Rs	Reduzir – Reusar - Reciclar
SEBRAE	Serviço de Apoio à Pequena e Média Empresa
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
CDS	Comissão de Desenvolvimento Sustentável
WHO	<i>(World Health Organization)</i> Organização Mundial de Saúde

RESUMO

A questão ambiental é uma das principais agendas de discussão nas estratégias empresariais que visam atender mercados cada vez mais exigentes e interessados em empresas que protegem o meio ambiente. Na indústria mecânica, os fluidos de corte aparecem como uns dos principais agentes poluidores nos processos de usinagem, o que requer cuidados especiais para o seu gerenciamento ambiental. Inicialmente as pesquisas para aperfeiçoamento de fluidos de corte e métodos de aplicação mais eficazes visavam satisfazer aspectos tecnológicos e econômicos. Entretanto, nos últimos anos, os pesquisadores e fabricantes estão concentrados no desenvolvimento de fluidos de corte ambientalmente amigáveis e de novas tecnologias objetivando a redução ou até mesmo a eliminação deste insumo, visando o atendimento de rigorosas leis ambientais, de saúde e de segurança no trabalho, assim como a adequação dos processos de usinagem a um sistema integrado de gestão da qualidade, da segurança ocupacional e do meio ambiente. O objetivo deste trabalho é identificar evidências e contribuir na busca de soluções viáveis para minimizar os impactos ambientais causados pela utilização e descarte dos fluidos de corte correlacionando-os às boas práticas ambientais e ao princípio dos 3Rs. Para a elaboração deste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica com foco na identificação de estudos que evidenciam a preocupação ambiental do setor metal-mecânico na busca de oportunidades de adoção de boas práticas ambientais no gerenciamento deste importante insumo. Pode-se verificar que mesmo com o desenvolvimento de fluidos de corte ambientalmente menos agressivos e de métodos de aplicação em quantidades cada vez menores, ainda assim, este insumo básico requer gerenciamento com foco ambiental para a sua correta utilização. Como decorrência, pode-se constatar a necessidade de conscientização a respeito dos impactos ambientais que podem ser gerados pelo seu uso indevido e de estabelecimento de uma gestão ambiental sustentável que tenha como referência o princípio dos 3Rs (Reduzir, Reusar e Reciclar).

Palavras-chave: Fluidos de corte; Usinagem; Meio ambiente; Boas práticas ambientais; 3Rs;

ABSTRACT

Environmental issues have become a priority in business strategies aimed at supplying markets that are increasingly demanding and interested in companies that seek to protect the environment. Cutting fluids are one of the main pollutants in the machining processes of the metalworking industry, thus requiring special care in their environmental management. Early researches aimed at improving cutting fluids and devising more effective application methods focused on enhancing technological and economic aspects. However, in recent years, the efforts of researchers and manufacturers have concentrated on the development of environmentally friendly cutting fluids and new technologies aimed at the reduction or even the elimination of cutting fluids in order to satisfy increasingly strict environmental, public health and work safety regulations, as well as to align machining processes to an integrated system of quality, occupational safety and environmental management. The objective of this work is to find examples and contribute toward the search for viable solutions to minimize the environmental impacts caused by the use and disposal of cutting fluids, correlating these solutions to good environmental practices and to the 3Rs principle. This work involved a comprehensive bibliographic review focusing on the identification of studies that show the environmental concern of the metalworking industry in the search for opportunities to adopt good environmental practices in the management of cutting fluids. It was found that, despite the development of less environmentally harmful cutting fluids and of methods for the application of increasingly small quantities, this basic product still requires environmentally-based management for its correct use. Therefore, there is a need for awareness-raising about the environmental impacts that can be caused by the incorrect use of cutting fluids and for the establishment of sustainable environmental management underpinned by the principle of 3Rs (Reduce, Reuse and Recycle).

Keywords: cutting fluids; machining; environment; good environmental practices; 3Rs.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com os problemas ambientais que se originaram nos processos de crescimento e desenvolvimento ocorreu de forma lenta e diferenciada, como numa evolução de eventos, entre os vários indivíduos, governos, organizações internacionais, entidades da sociedade civil (BARBIERE, 2005).

Segundo Lavorato (2004), o maior desafio das empresas, que é o de manter e aumentar a competitividade e ao mesmo tempo atender as pressões dos públicos de interesse, ficou bem mais complexo com a inclusão da variável ambiental.

Neste contexto de preocupação ambiental, de acordo com Choi et al. (1996), ser consciente a respeito do meio ambiente é uma tendência mundial e uma nova oportunidade de negócio e a chamada produção limpa e produtos verdes tornaram-se tópicos importantes para todos os fabricantes e produtos, aplicando-se a qualquer processo.

Para Tan et al. (2002), depois que as normas ISO 9000 para os sistemas de gerenciamento da qualidade, ISO 14000 para o sistema de gerenciamento ambiental e as OHSAS 18001 Saúde e Segurança Ocupacional foram publicadas, aplicar nas empresas as três séries em um único sistema de gerenciamento integrado transformou-se em uma das grandes mudanças estratégicas, não somente sob a perspectiva da engenharia, mas também sob a perspectiva de marketing e negócios.

Assim, em um cenário de preocupação mundial com o meio ambiente, a indústria mecânica necessita adequar seus processos visando à minimização de seus rejeitos, dentre eles os resíduos gerados ao final da vida útil dos fluidos de corte.

De acordo com Gunter e Sutherland (1999), os fluidos de corte são amplamente utilizados pela indústria metal mecânica em operações de usinagem tais como: fresamento, retificação, furação e torneamento, sendo, usualmente, aplicados na zona de corte em jatos direcionados por um bocal ou por inundação da ferramenta de corte e da peça com o fluido sendo aplicado por vários bocais.

Os fluidos de corte são composições complexas, contendo agentes químicos que variam de acordo com o tipo de operação a ser executada e os metais a serem trabalhados. São partes integrantes dos processos de fabricação de peças cujas funções são: refrigerar, lubrificar, remover os cavacos da área de corte, proteger

contra a corrosão o sistema constituído pela máquina / ferramenta / peça em produção e os cavacos. Atualmente, há uma grande variedade de tipos e fabricantes de fluidos de corte disponíveis e também de alternativas de métodos de aplicação, o que requer uma seleção adequada e racional, que nem sempre é uma tarefa fácil. A seleção e o correto uso do fluido de corte influem diretamente sobre a qualidade de acabamento das peças, a produtividade, o custo operacional, a saúde do trabalhador e meio ambiente (RUNGE e DUARTE, 1990).

Para Alves (2006), diversos problemas são identificados no uso dos fluidos de corte, tais como, os perigos à saúde e ao meio ambiente e cita que, os mais recentes esforços da indústria metal-mecânica têm se focado no desenvolvimento de bons processos de reciclagem e na substituição de produtos químicos utilizados nos processos de fabricação, tornando-os processos limpos.

Segundo Attanasio (2005), industriais e pesquisadores buscam reduzir o uso de fluidos de corte para obter benefícios de segurança no trabalho, ambientais e econômicos, citando a mínima quantidade de lubrificante (MQL) como uma das técnicas estudadas.

Este trabalho foi elaborado a partir de material já publicado, constituído de livros, artigos de periódicos, revistas, jornais, teses e dissertações, e, também, de material disponibilizado na Internet, reunindo, assim, informações importantes para a formação de uma consciência ambiental positiva no meio industrial da usinagem de metais.

Diversos aspectos dos problemas ambientais associados aos fluidos de corte podem ser evitados ou minimizados, por meio de investimentos em pesquisas para desenvolvimento de novos tipos de fluidos, de métodos de aplicação menos agressivos e de treinamentos voltados para a formação de uma nova cultura na indústria metal-mecânica. Uma nova cultura que possibilite o perfeito entendimento dos impactos ambientais causados pelo uso indisciplinado dos fluidos de corte e a conseqüente conscientização dos empresários e trabalhadores em relação à tomada de atitudes voltadas às boas práticas ambientais.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é identificar evidências na literatura, de que a adoção pela indústria mecânica de um gerenciamento voltado para as boas práticas ambientais e fundamentado na aplicação do princípio dos 3Rs, é capaz de diminuir os impactos negativos que podem ser provocados pelo descaso e/ou pela utilização pouco eficiente dos fluidos de corte e contribuir na busca de soluções viáveis para minimizar os impactos ambientais causados pela utilização e descarte dos fluidos de corte em processos de usinagem.

1.2 Estrutura do trabalho

Para facilitar a localização do assunto desejado, o trabalho foi dividido em capítulos referentes a cada aspecto.

No capítulo 1 são apresentados a introdução, o objetivo e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 são apresentados conceitos sobre os fluidos de corte, tendo como enfoque principal os tipos, classificação, composição e os aspectos que influenciam a sua vida útil, buscando um melhor conhecimento dos fluidos de corte que possa permitir o aproveitamento máximo de suas características e prevenir as inteirações indesejáveis com o meio ambiente.

No capítulo 3 é apresentada a Legislação Ambiental aplicável aos fluidos de corte, visando um entendimento da legislação que possa permitir a utilização de fluidos de corte prevenindo as conseqüências legais decorrentes de sua utilização inadequada.

No capítulo 4 são estudados aspectos e impactos ambientais na utilização dos fluidos de corte, apresentando os seus principais aspectos geradores de efeitos adversos e mostrando os impactos ambientais conseqüentes do processo de utilização de fluidos de corte e as possíveis medidas de prevenção à poluição.

No capítulo 5 são apresentadas as boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte em operações de usinagem, identificadas neste estudo.

No capítulo 6 é realizada uma correlação entre os estudos relacionados às boas práticas ambientais e à prática dos 3Rs na utilização de fluidos de corte em operações de usinagem.

O capítulo 7 apresenta sugestões para trabalhos futuros e a conclusão do estudo realizado.

O capítulo 8 apresenta as referências bibliográficas utilizadas para a realização deste estudo.

2. OS FLUIDOS DE CORTE

Neste capítulo são apresentados conceitos sobre os fluidos de corte, tendo como enfoque principal os tipos, classificação e composição, assim como, os aspectos que influenciam o tempo de vida útil, buscando um melhor conhecimento dos fluidos de corte que possa permitir o aproveitamento máximo de suas características.

2.1 Definições dos fluidos de corte

Na literatura, a nomenclatura para os diferentes fluidos de corte varia de um autor para outro.

Segundo Silliman (1992), é usual encontrar diferentes nomes para um mesmo tipo de fluido de corte, o que, apesar de não ser incorreto, causa expressiva confusão e, portanto, requer uma nomenclatura para facilitar a compreensão das diferentes características de cada tipo.

De acordo com Motta e Machado (1995), cada tipo de fluido de corte apresenta características particulares, assim como, vantagens e limitações diversas; entretanto, as características que distinguem as diferentes classes nem sempre são facilmente percebidas, o que dificulta a classificação.

Neste estudo são utilizados os seguintes conceitos:

Fluido de corte: é qualquer fluido utilizado para o corte ou usinagem de metais ou outros materiais (RUNGE e DUARTE, 1990).

Óleo de corte: é um fluido de corte cuja origem pode ser mineral (petróleo), animal ou vegetal, puro ou em combinações (SILLIMAN, 1992) e é usado conforme fornecido, isto é, não é misturado à água, sendo também chamado de puro (EL BARADIE, 1996) ou integral (RUNGE e DUARTE, 1990).

Óleo emulsificável: é o fluido de corte à base de óleo mineral misturado com agentes emulsificadores (SILLIMAN, 1992;), utilizado misturado à água em forma de emulsão, seja qual for o teor do óleo empregado (RUNGE e DUARTE, 1990). É comumente chamado de óleo solúvel em água ou fluido de corte emulsificável (EL BARADIE, 1996; SILLIMAN, 1992).

Fluido sintético: também chamado de fluido químico, é o fluido de corte que consiste de solução química composta de materiais inorgânicos e/ou outros materiais dissolvidos na água e que não contém óleo mineral (EL BARADIE, 1996).

Fluido semi-sintético: também chamado de fluido semi-químico, é o fluido de corte que contém pequena quantidade de óleo mineral e é usado misturado em água, na qual forma emulsão fina, parecida com as soluções (RUNGE e DUARTE, 1990). Essencialmente é uma combinação do fluido sintético com uma quantidade muito pequena de óleo emulsificável que contém alto teor de emulsificante (EL BARADIE, 1996; SILLIMAN, 1992).

Em síntese, atualmente, os fluidos de corte são composições complexas contendo agentes químicos que variam de acordo com o tipo de operação a ser executada e os metais a serem trabalhados (SILVA ET AL., 2005) podendo ser perigosos para a saúde do trabalhador (LINNAINMAA ET AL., 2003) e ao meio ambiente (BARTZ, 2001).

2.2 Principais funções dos fluidos de corte

As duas principais funções dos fluidos de corte são: a lubrificação nas velocidades de corte relativamente baixas e a refrigeração nas velocidades de corte relativamente altas (SHAW, 1984).

De acordo com Sokovic e Mijanovic (2001), os fluidos de corte foram introduzidos nos processos de corte com o propósito de melhorar as características dos processos tribológicos, os quais estão sempre presentes nas superfícies de contato entre a ferramenta e a peça em usinagem.

Conforme Pawlak et al. (2005), os fluidos tem duas importantes funções relacionadas aos severos fenômenos tribológicos que ocorrem onde há processos físico-químico-mecânicos envolvidos, que são promover a lubrificação entre a peça trabalhada e a ferramenta e também remover o calor gerado durante os processos de corte.

Para Attanasio (2005), os fluidos de corte exercem um importante papel nas operações de corte, uma vez que devem, essencialmente, garantir a lubrificação e refrigeração e, secundariamente, proteger a peça em fabricação e a ferramenta contra a corrosão, além de promover a remoção dos cavacos.

Segundo Stanford, Lister e Kibble (2007), tradicionalmente, os fluidos de corte têm sido visto mais propriamente como uma solução do que como um problema, uma vez que eles têm provado ser um significativo benefício para o processo de corte de metal e exercerem um importante papel na melhoria e manutenção do acabamento final da peça, na remoção dos cavacos, na redução das forças de corte,

na supressão das limalhas e na resistência à corrosão da peça e da máquina-ferramenta.

De acordo com Trent e Wright (2000), o fluido de corte não deve apenas melhorar o processo de corte conforme especificado, mas, deve, também, satisfazer a uma série de outros requerimentos, tais como: não ser tóxico e não oferecer riscos ao operador, não ser inflamável, não ser prejudicial para o sistema de lubrificação da máquina-ferramenta, não provocar corrosão ou manchar a peça usinada, além disso, deve oferecer proteção à superfície usinada e evidentemente, ter o menor custo possível.

Assim, as funções dos fluidos de corte podem ser resumidas, conforme Runge e Duarte (1990), em:

- Refrigerar:
- Lubrificar
- Melhorar o acabamento da peça
- Reduzir o desgaste das ferramentas
- Remover os cavacos da área de corte
- Proteger contra a corrosão (a máquina, a ferramenta, a peça e os cavacos).

Segundo El Baradie (1996), é fundamental remover o calor gerado durante a formação do cavaco e pela fricção entre a peça em usinagem e a ferramenta de corte, e de acordo com Runge e Duarte (1990), esta remoção visa evitar distorções térmicas nas peças usinadas, assim como, a rápida destempera, o desgaste prematuro e as trocas freqüentes das ferramentas de corte.

Attanasio (2005) acrescenta que não é fácil alcançar a superfície de corte em decorrência da alta pressão existente na área de contato e ao pequeno espaço entre o cavaco e a ferramenta que dificultam o acesso do fluido refrigerante na zona de corte, o que requer dos fluidos de corte também uma função lubrificante. Segundo El Baradie (1996), a introdução de constituintes com propriedades lubrificantes e de certos aditivos permitem ao fluido de corte fluir na área de contato e possibilitar o melhor deslizamento da ferramenta e dos cavacos e a redução da tensão de cisalhamento.

Porém, a preponderância dos mecanismos de refrigeração ou lubrificação depende das aplicações, sendo que, operações de baixa velocidade e de pequenos

avanços, requerem maior grau de lubrificação, enquanto que operações de alta velocidade e elevado avanço requerem mais refrigeração (RUNGE e DUARTE, 1990).

Segundo Stanford, Lister e Kibble (2007), o caminho pelo qual o fluido de corte atua e auxilia o processo de corte é complexo e é assunto de longos estudos e pesquisas e, em muitas ocasiões, o uso e a adoção de um determinado fluido de corte é fruto de uma escolha automática baseada na presunção de que eles são essenciais e confiáveis para o processo de usinagem. Entretanto, as severas legislações ambientais aumentando o custo de disposição do fluido usado e a publicação de dados associados com os riscos à saúde ocupacional teve como consequência o crescimento da busca por alternativas viáveis de meios de corte ambientalmente amigáveis.

2.3 Tipos de fluidos de corte, suas características e propriedades

De acordo com Silliman (1992), em 1868 W. H. Northcott publicou que a produtividade do torno mecânico poderia ser aumentada por meio da utilização de um fluido de corte e F. W. Taylor demonstrou, em 1883, que jorrando grandes quantidades de água sobre a superfície de contato, entre a peça, o cavaco e a ferramenta aumentariam a velocidade de corte de 30 a 40%. Segundo Ignácio (1998), a idéia da água surgiu com a finalidade de diminuir o indesejável efeito da alta temperatura, mas apresentou desvantagens tais como a oxidação do conjunto máquina-ferramenta-peça e ausência do poder de lubrificação, o que, segundo Silliman (1992), levou ao desenvolvimento e utilização de óleos graxos para todos os tipos de corte de metal.

Segundo El Baradie (1996), um bom líquido refrigerante deve ter alta condutividade térmica e alto calor específico, sendo que, a água preenche estes requisitos, além de ser de baixo custo, porém apresenta um reduzido potencial lubrificante e, portanto, não é eficaz no que tange a redução do atrito entre o cavaco e a face da ferramenta e, além disso, provoca corrosão nos metais usinados e nas máquinas-ferramenta.

Queiroz (2001) acrescenta que a adição de água ao processo de corte, com o tempo de uso, favorece a proliferação de microorganismos, aumentando a lista de fatores que inviabilizam o uso de água pura como fluido de corte. Esses problemas incentivaram a pesquisa e desenvolvimento de novas composições e aditivos

visando o desenvolvimento de fluidos de corte que evitassem a corrosão e o crescimento de microorganismos, além de buscar incrementar outras características que permitissem obter melhor desempenho.

De acordo com Rossmore e Rossmore (1996), desde que a água se tornou um componente essencial na formulação dos fluidos de usinagem de metal, os microorganismos apresentam-se como um problema que requer controle, sendo que muitas estratégias, tais como: fluidos bioresistentes, agentes biocidas e boas práticas de fabricação; são oferecidas para prevenir a deterioração microbiológica e contribuir para a longevidade do fluido.

Além disso, segundo Silliman (1992), o aumento da demanda, impulsionado pela expansão industrial, estimulou esforços para aumentar a velocidade de corte, o que exigiu o desenvolvimento de materiais para ferramentas de corte mais resistentes e conseqüentemente trouxe a necessidade de aperfeiçoamento dos fluidos de corte.

Segundo El Baradie (1996), uma alternativa interessante em termos de custo x benefício são os óleos minerais, por que eles têm características preponderantemente lubrificantes que são requeridas para o movimento relativo entre a interface da ferramenta de corte e o cavaco, e, além disso, as propriedades refrigerantes são reforçadas com a incorporação de determinados aditivos que atuam na redução do atrito, fazendo com que as microsoldagens, provocadas pela fricção entre a ferramenta de corte e o cavaco, sejam reduzidas, permitindo que o cavaco deslize mais facilmente, diminuindo o calor gerado pelo processo de usinagem; sendo que, para as operações mais severas, onde existe dificuldade de lubrificação e penetração, são empregados aditivos de extrema pressão (EP) e de ação rápida.

Segundo Silliman (1992), atualmente, os fluidos de corte podem ser óleos integrais ou uma mistura de óleos, podem conter um ou uma combinação de aditivos tais como: enxofre, cloro, fósforo ou outros compostos químicos; podem ser miscíveis com água, utilizando pouquíssimo óleo ou até nenhum, podem conter ou não agentes surfactantes, isto é, existem fluidos para atender as propriedades necessárias para aplicação em uma ampla variedade de operações de usinagem.

Nos últimos tempos, segundo Sokovic e Mijanovic (2001), os novos fluidos de corte, além dos requerimentos tribológicos usuais, devem satisfazer aos requisitos de proteção ambiental impostos por rigorosas legislações ambientais e/ou por

normas internacionais, tais como a ISO 14000. Além disso, segundo Villena (1994), devem ser formulados visando diminuir os riscos à saúde e segurança dos trabalhadores.

Ignácio (1998) correlaciona certas propriedades dos fluidos de corte às suas composições, conforme apresentado na tabela 1:

Tabela 1 – Correlação entre os principais tipos de fluidos de corte e suas principais propriedades e composições (Runge e Duarte, 1990, El Baradie, 1996, Ignácio, 1998, adaptada).

FLUIDOS DE CORTE					
Classificação	Integrais	Solúveis em Água			Gases
		Emulsões óleos emulsificáveis	Semi-Sintéticos	Sintéticos	
Principais Composições	Óleos minerais Óleos graxos Cloro Enxofre Fósforo	Água Óleo Mineral Emulsificadores Cloro Enxofre Glicol Biocidas	Água Óleo Mineral Elementos Orgânicos e Inorgânicos Cloro Enxofre Biocidas	Água, Sais Inorgânicos, Cloro, Enxofre, Biocidas Agentes Umectantes	Ar Argônio Hélio Nitrogênio Gás Carbônico
Principais Propriedades	Lubrificação, Extrema-Pressão Anticorrosão	Refrigeração Extrema-Pressão Anti-oxidação Anticorrosão Lubrificação Lavagem	Refrigeração Extrema-Pressão Anti-oxidação Anticorrosão Lubrificação	Refrigeração Extrema-Pressão Anti-oxidação Anticorrosão	Anti-oxidação Usinagem à seco

No caso do Método de Mínima Quantidade de Fluido (MQF), que está entre a usinagem com refrigeração e a sem refrigeração e que apenas uma gota de fluido é lançada na área de corte para produzir um filme de lubrificante protetivo, quase a seco, uma quantidade mínima de fluido é dirigida por um jato de ar ao ponto onde está sendo executada a usinagem, sendo que o volume de fluido pode variar em função do volume de cavacos e do processo de usinagem e os fluidos lubrificantes devem ter altíssima taxa de remoção de calor, além disso, a mínima quantidade de fluido deve ser suficiente para reduzir o atrito da ferramenta e evitar a aderência dos materiais (CNTL, 2008).

De acordo com Runge e Duarte (1990), em adição às propriedades de refrigerar e lubrificar o fluido de corte deve ter outras propriedades relacionadas na tabela 2:

A tabela 2 correlaciona as propriedades que os fluidos de corte devem possuir, tais como: antiatrito; viscosidade adequada, isto é, baixa o suficiente para que o fluido chegue na zona a ser lubrificada e alta o bastante para permitir boa aderência; alto calor específico e condutividade térmica; anticorrosiva;

antiespumante; compatibilidade com a maioria das pinturas e vedações; compatibilidade com metais ferrosos e não ferrosos; baixa tendência para originar precipitados sólidos; não causar incrustações nas tubulações de filtração do fluido em uso entre outras, e a ação esperada sobre a operação de usinagem, sendo que a maioria dessas propriedades é conferida aos fluidos de corte pelos aditivos utilizados.

Tabela 2 – Correlação entre as propriedades dos fluidos de corte e a ação desejada (Runge e Duarte, 1990, adaptada).

Propriedades dos fluidos de corte	Ação esperada
Anticorrosivas	Proteger a peça, a ferramenta e os componentes da máquina contra a corrosão.
Antioxidantes	Evitar a oxidação prematura do fluido devido a ação das elevadas temperaturas e da forte aeração às quais é
Antidesgaste	Reforçar as propriedades lubrificantes do óleo mineral e são proporcionadas pela matéria graxa e aditivos do tipo ZDTP (ditiofosfato de
Antiespumantes	Evitar a formação de espuma que possa impedir a visão da operação ou influir negativamente sobre o efeito de refrigeração mediante bolhas de ar na área de corte ou fraca transferência de calor no
Anti-solda ou EP (Extrema Pressão)	Resistir às elevadas pressões de corte quando o poder lubrificante e os aditivos antidesgaste não são suficientes. Exemplo: aditivos EP à base de enxofre, cloro e outros.
Alta capacidade de umectação	Fazer com que a superfície da peça, a ferramenta e os cavacos sejam rapidamente molhados pelo fluido fluindo diretamente sobre a capacidade de refrigeração.
Ausência de odores	Assegurar que o meio ambiente onde a operação é executada esteja livre de odores fortes e/ou desagradáveis
Ausência de precipitados sólidos ou de qualquer outra natureza	Garantir a livre circulação do fluido pelo sistema e assegurar o livre e preciso movimento dos elementos da máquina.
Alta capacidade de absorção de calor - a refrigeração é influenciada pela(o): Viscosidade Calor específico, Condutibilidade térmica, Vapor latente de vaporização (fluidos aquosos)	Remover o calor gerado durante a operação de corte, para prolongar a vida útil das ferramentas e garantir a precisão dimensional das peças por meio da redução de distorções térmicas.
Lavabilidade, propriedade influenciada pela: Viscosidade, Tensão superficial, Facilidade de decantação dos cavacos	Remover cavacos e poeira produzidos durante o corte para evitar quebra da ferramenta e danos à peça.
Viscosidade adequada	Ser suficientemente baixa para assegurar fácil circulação pela máquina, manter um jato de fluxo contínuo na área de corte e permitir rápida decantação dos cavacos e outros resíduos; Ser suficientemente elevada em alguns casos em que se deseja maior grau de lubrificação.
Estabilidade	Assegurar que o produto seja homogêneo ao chegar à área de
Transparência	Permitir a observação da área de corte.
Compatibilidade com o meio ambiente	Compatibilidade com a saúde humana. Compatibilidade com os componentes da Compatibilidade com o metal que está sendo Ter alta tratabilidade para descarte e ser de fácil eliminação, evitando danos ao meio ambiente.

2.3.1 Fluidos de corte puros ou integrais

Segundo El Baradie (1996), o termo óleos de corte puros refere-se àqueles fluidos de corte cuja base é predominante óleo mineral e que são utilizados conforme fornecidos, isto é, sem a adição de água; podendo ser integralmente de óleo mineral ou aditivados. Runge e Duarte (1990) empregam a expressão óleo integral.

Segundo Silliman (1992), podem ser à base de óleo mineral de petróleo, de óleo animal, de óleo vegetal ou, ainda, de combinações entre esses óleos, com o objetivo de aumentar as características umectantes e lubrificantes dos óleos minerais, particularmente em altas temperaturas. Os fluidos de corte integrais são caracteristicamente de cor escura ou em tons marrons devido a sua viscosidade e aos seus aditivos, entretanto, o desenvolvimento dos óleos-base e dos aditivos tem propiciado o surgimento de óleos levemente coloridos e com alta eficiência de corte. Além disso, por apresentar maior transparência permite ao operador a visualização da zona de trabalho através do fluido de corte, fato particularmente útil durante o ajustamento da operação e no ajuste fino de operações mais delicadas.

De acordo com El Baradie (1996), os principais grupos que abrangem as classificações dos fluidos de corte são:

2.3.1.1 Óleo mineral puro

2.3.1.2 Óleo graxo

2.3.1.3 Misturas de óleo mineral e óleo graxo

2.3.1.4 Aditivos de Extrema Pressão (EP)

2.3.1.5 Misturas de óleo mineral e óleo graxo sulfurizado

2.3.1.6 Misturas de óleo mineral e óleo graxo sulfurizado e enxofre ativo

2.3.1.7 Misturas de óleo mineral e óleo mineral sulfurizado

2.3.1.8 Misturas de óleo mineral, óleo mineral sulfurizado e óleo graxo sulfurizado.

2.3.1.9 Misturas de óleo mineral e parafinas cloradas

2.3.1.10 Misturas de óleo mineral com parafinas cloradas e óleo graxo sulfurizado

2.3.1.11 Misturas de óleo mineral e óleo graxo clorado

2.3.1.12 Misturas de óleo mineral, óleo graxo clorado e óleo graxo sulfurizado.

2.3.1.13 Misturas de óleo mineral e óleo graxo sulfoclorado

2.3.1.1 Óleo mineral puro

Conforme Silliman (1992), os óleos minerais não compostos, ou puros, são aqueles usados “in natura”, isto é, sem aditivos, podendo ter origem de base naftênica¹ (cadeias de carbono saturadas cíclicas) ou parafínica (cadeias de carbono retas ou ramificadas), e, de acordo com Tolbert et al. (1992) são refinados a partir do óleo natural cru, sendo que, os óleos parafínicos oferecem melhor estabilidade quanto à oxidação e tendem a ser menos reativos, enquanto que, os óleos naftênicos proporcionam uma mistura mais homogênea.

De acordo com Runge e Duarte (1990), os óleos minerais parafínicos produzem óleos de corte de boa qualidade, apresentando-se em maior disponibilidade e menor custo, com elevado Índice de Viscosidade (IV), maior resistência natural à oxidação.

Os óleos minerais puros são usualmente óleos minerais fornecidos em uma faixa de viscosidade apropriada para diferentes aplicações, sendo que, as suas propriedades lubrificantes podem ser melhoradas pela adição de óleos graxos, cloro e enxofre (TRENT e WRIGHT, 2000).

El Baradie (1996) acrescenta que os óleos minerais não apresentam propriedades lubrificantes tão boas quanto aos óleos minerais compostos ou aditivados, mas, são não-corrosivos e estáveis e, se conservados limpos, podem ser aproveitados quase indefinidamente, além disso, apresentam um custo menor e geralmente se destinam à lubrificação em operações leves, tais como aquelas que ocorrem com alumínio, magnésio, latão e aços compostos com enxofre ou chumbo. Entretanto, necessitam ser aditivados por que em algumas operações de usinagem as propriedades de transportar cargas são inadequadas para as severas condições experimentadas na zona de corte.

¹ Segundo Runge e Duarte (1990), no passado predominavam o uso de óleos naftênicos por serem mais facilmente emulgados e por permitirem a dissolução de maiores quantidades de enxofre, entretanto, atualmente este tipo está em desuso devido à escassez, elevado custo e maior potencial de causar problemas de saúde. De acordo com Webster (1995) apud Silva (2006) se os compostos aromáticos policíclicos não forem destruídos durante o processo de formação do óleo, mediante forte hidrogenação, poderão causar câncer ou dermatites.

2.3.1.2 Óleo graxo

De acordo com Silliman (1992), os fluidos com óleos graxos, materiais graxos ou gorduras são utilizados como aditivos polares e podem ter origem, tanto animal, derivados de tecidos gordurosos de animais bovinos, ovinos, suínos ou ainda de animais marinhos tais como peixes e baleias² (óleo espermacete), quanto vegetal.

Conforme El Baradie (1996), os óleos graxos são muito polares, apresentam alta oleosidade e são bons lubrificantes para situações limite e podem contribuir para a redução do calor de fricção nas operações de corte ou retificação. Entretanto, apresentam desvantagens tais como rápida rancificação provocada por oxidação e crescimento de bactérias e conseqüentemente, desenvolvendo odores desagradáveis (RUNGE e DUARTE, 1990).

Segundo Silliman (1992), os fluidos com óleos graxos de origem vegetal são obtidos pela trituração e laceração de grãos, sementes e até frutas inteiras de plantas específicas, sendo que, os óleos resultantes são líquidos e contém certa percentagem de gordura insaturada e são divididos em duas categorias: secantes, que apresentam alta percentagem de ácidos graxos insaturados e não secantes aqueles que contém menor quantidade de gorduras insaturadas, sendo que, o primeiro tipo forma um filme elástico resistente quando exposto à atmosfera, devido ao contato com o oxigênio, enquanto o tipo não secante não apresenta esta característica, sendo que, os óleos vegetais do tipo não secante, tais como óleo de palma, óleo de coco e óleo de mamona, devido ao seu baixo grau de insaturação, não necessitam de processamento adicional e são usados extensamente na produção de fluidos de corte.

Segundo Sheng et al.1997, embora sejam mais caros do que os óleos a base de petróleo, os óleos vegetais são mais adequados para o atendimento dos rígidos requisitos ambientais devido a sua biodegradabilidade, entretanto, esta mesma característica confere aos óleos vegetais maior propensão a degradação microbiológica do que os óleos derivados de petróleo.

² Devido à legislação de proteção às baleias, o óleo de espermacete vem sendo substituído cada vez mais por matérias graxas vegetais ou sintéticas sulfurizadas ou não (RUNGE E DUARTE, 1990)

2.3.1.3 Misturas de óleo mineral e óleo graxo

Segundo Teixeira Filho (2006), aos componentes básicos do óleo mineral vários tipos de aditivos podem ser adicionados, principalmente aqueles de características polares, uma vez que formam um filme orgânico para ligar-se quimicamente à superfície da ferramenta e da peça, sendo que, este filme promove uma união ao metal mais forte do que aquela formada pela barreira física das moléculas de óleo sozinhas. Este fenômeno aumenta a capacidade umectante do fluido e diminui os desgastes da ferramenta devido à abrasão.

Segundo El Baradie (1996), as misturas de óleo mineral e de óleo graxo são utilizadas principalmente para a melhoria do acabamento na usinagem de tipos duros de latão, cobre e aço doce, onde o óleo mineral não produz o acabamento ideal e a utilização de grandes quantidades de aditivos poderia causar mancha, além disso, pequenas adições de óleos graxos têm o efeito de melhorar as características antiatrito sob condições limites de lubrificação, quando o atrito entre as faces dificulta o acesso do fluido lubrificante.

2.3.1.4 Misturas de óleo mineral e aditivo de extrema pressão (EP)

Segundo El Baradie (1996), os aditivos de extrema pressão são utilizados nas operações de usinagem onde as forças de corte são particularmente altas ou com avanços pesados e fornecem uma forma mais estável de lubrificar a interface ferramenta-cavaco.

De acordo com Silliman (1992), os aditivos químicos ou aditivos de extrema pressão incluem o enxofre³, cloro⁴ ou compostos de fósforo, que reagem sob altas temperaturas nas zonas de corte para formar sulfetos metálicos, cloretos e fosfetos, que além de fornecerem uma lubrificação em pressões extremas, também fornecem um filme na superfície da ferramenta de corte que elimina as micro-soldagens entre a ferramenta e o cavaco, reduzindo a formação do gume postigo, reduzindo as

³ O enxofre é um agente de extrema pressão que proporciona proteção contra o desgaste do ferramental. Convenciona-se chamar óleo sulfurado aos fluidos de corte à base de óleo mineral com enxofre livre diretamente dissolvido no óleo (enxofre ativo) e óleo sulfurizado aos fluidos de corte com enxofre combinado com matéria graxa (enxofre inativo), sendo que, neste caso não atacam o cobre e suas ligas (RUNGE E DUARTE, 1990).

⁴ O cloro, em forma de parafina clorada, também é uma substância eficiente para reduzir o desgaste, porém, o uso do cloro encontra restrições ambientais em virtude dos danos ao meio ambiente que os compostos clorados podem provocar (RUNGE E DUARTE, 1990).

forças na zona de cisalhamento, melhorando o acabamento e ajudando no controle da vida útil da ferramenta.

2.3.1.5 Misturas de óleo mineral e óleo graxo sulfurizado

Segundo El Baradie (1996), as gorduras sulfurizadas são aditivos usados para produzir aditivos EP inativos, isto é, que não causam manchas em metais tais como o cobre e suas ligas, além do que, de acordo com Runge e Duarte (1990) apresentam excelente poder lubrificante ou propriedade antiatrito, o que proporciona maior tempo de vida útil para a ferramenta de corte, assim como, melhor acabamento da peça.

2.3.1.6 Misturas de óleo mineral e óleo graxo sulfurizado e enxofre ativo

Segundo Runge e Duarte (1990), há combinações de matéria graxa e enxofre que são ativas, sendo a combinação de enxofre ativo e não-ativo, freqüentemente, encontrada em óleos de corte integrais.

De acordo El Baradie (1996), a adição de enxofre elementar em um óleo graxo sulfurizado devolve ao óleo sua atividade, sendo que, os óleos sulfurizados ativos possuem melhores propriedades EP do que os inativos e são particularmente adequados para a usinagem pesada de ligas ferrosas.

2.3.1.7 Misturas de óleo mineral e óleo mineral sulfurizado

De acordo com Silliman (1992), mais energia é requerida para sulfurizar uma gordura do que dissolver o enxofre em um óleo mineral e como resultado o enxofre combinado no óleo mineral sulfurizado fica mais livre o que o torna mais ativo do que o óleo graxo sulfurizado. Para El Baradie (1996), esse tipo de óleo apresenta boas propriedades EP, menor custo para ser produzido e por ser ativo provoca mancha nos metais amarelos.

2.3.1.8 Misturas de óleo mineral, óleo mineral sulfurizado e óleo graxo sulfurizado

Essa mistura combina a oleosidade dos óleos graxos sulfurizados com as propriedades EP dos óleos minerais sulfurizados sendo muito efetivos para a lubrificação em operações com usinagens pesadas de metais ferrosos (EL BARADIE, 1996).

2.3.1.9 Misturas de óleo mineral e parafinas cloradas

Segundo El Baradie (1996), o óleo de corte produzido com parafina clorada apresenta menores características EP do que os óleos contendo enxofre na mesma proporção, embora garantam melhor ação contra o atrito. A baixa eficácia do efeito EP é compensada pela ação dos compostos de cloro que estão dispersos na solução. De acordo com Runge e Duarte (1990), as altas temperaturas desenvolvidas na região de corte desencadeiam reações químicas entre o cloro e a superfície metálica, formando cloretos metálicos, facilmente cisalháveis em função de sua estrutura laminar. Os fluidos clorados são utilizados nas máquinas-ferramentas automáticas e em usinagem de ligas de níquel, particularmente nas operações de brochamento.

Com relação ao meio ambiente não apenas os solventes clorados, mas também as parafinas cloradas estão sujeitas à rigorosa legislação ambiental em países tais como a Alemanha, que estabelece medidas restritivas para o descarte encarecendo o processo como um todo (RUNGE E DUARTE, 1990).

Segundo Bartz (2001), em 1986 uma lei na Alemanha dividiu a disposição de óleos usados em três categorias, o que obriga a coleta separada dos óleos residuais, sendo que, a regulamentação estabeleceu limites residuais, tais como: 0,2% para halogênio total e 4 ppm de bifenis policlorados, para que óleos contendo substâncias halogênicas pudessem ser reciclados. Assim os óleos contendo quantidade maior de substâncias halogênicas, especialmente as cloradas, requerem tratamento especial causando custos extremamente altos de disposição.

2.3.1.10 Misturas de óleo mineral com parafinas cloradas e óleo graxo sulfurizado

Segundo El Baradie (1996), este tipo de óleo de corte combina as melhores propriedades das parafinas cloradas com as dos óleos graxos sulfurizados, sendo que pode ser utilizado para uma larga variedade de materiais e operações. Além disso, as combinações das propriedades redutoras de atrito dos dois óleos propiciam melhor acabamento e aumentam a vida útil da ferramenta de corte, o que é facilitado pelas propriedades anti-solda do enxofre.

A combinação de enxofre e cloro produz um efeito sinérgico que resulta em um fluido de corte com maiores propriedades EP por reação com o substrato

metálico, do que seria esperado do mais eficiente dos dois, isto é, o enxofre (RUNGE E DUARTE, 1990).

2.3.1.11 Misturas de óleo mineral e óleo graxo clorado

De acordo com El Baradie (1996), óleos graxos clorados produzidos pela combinação com éster graxo sintético, são apropriados para usinagem de diversos tipos de materiais e não mancham metais ferrosos e não-ferrosos.

2.3.1.12 Misturas de óleo mineral, óleo graxo clorado e óleo graxo sulfurizado.

Segundo El Baradie (1996), esses fluidos têm boas propriedades antiatribo e anti-solda, sendo adequados a uma larga gama de operações e materiais, não mancham os metais, tanto os ferrosos quanto os não-ferrosos, além disso, uma vez que o enxofre e o cloro estão contidos em aditivos separados, podem ser formulados para atender às necessidades específicas de cada aplicação.

2.3.1.13 Misturas de óleo mineral e óleo graxo sulfoclorado

Nos óleos graxos sulfuroclorados ambos os elementos enxofre e cloro estão combinados na mesma molécula e são particularmente adequados à usinagem de metais resistentes como o aço inoxidável e as ligas resistentes ao calor (EL BARADIE, 1996).

2.3.2 Fluidos solúveis em água

De acordo com John et al (2004), óleos e gorduras são substâncias insolúveis em água, derivadas de recursos animais e vegetais, que através dos anos têm sido usadas e até os dias de hoje conservam sua importância como lubrificantes na usinagem de metais. Entretanto, devido à complexidade e requisitos especiais da nova geração de fluidos de usinagem, tais como EP e resistência à corrosão, esses óleos e gorduras necessitam ser modificados ou compostos.

Os óleos solúveis não se dissolvem de fato, na verdade, eles são, fundamentalmente, misturas de óleos minerais com emulsificantes, sendo que, quando a mistura é adicionada e misturada com a água ocorre uma dispersão de gotículas oleosas na fase aquosa, produzindo uma emulsão óleo em água (EL BARADIE, 1996).

Segundo Runge e Duarte (1990), os fluidos de corte solúveis, em geral, são compostos de emulgadores, acopladores, materiais anticorrosivos, biocidas, aromas e corantes, antiespumantes, enxofre como agente de extrema pressão, fósforo como aditivo antidesgaste, cálcio, matérias graxas, combinações de aditivos antidesgaste e extrema pressão e classificam-se quanto ao tipo e aparência.

Segundo El Baradie (1996), devido ao seu alto calor específico, sua alta condutividade térmica e seu alto calor de vaporização, a água é um dos mais efetivos meios refrigerantes conhecidos. Sendo assim, misturados com a água, os fluidos solúveis em água suprem a combinação de refrigeração e lubrificação moderada requerida pelas operações para remoção de metal que são conduzidas a altas velocidades e baixas pressões de corte e acompanhadas por considerada geração de calor.

De acordo com El Baradie (1996), os fluidos solúveis em água podem ser classificados, conforme mostra a Figura 1, em óleos emulsificáveis (óleos solúveis), fluidos químicos (sintéticos) e fluidos semi-químicos (semi-sintéticos).

A figura 1 demonstra esquematicamente a classificação principal dos fluidos solúveis em água e os tipos derivados de cada classe, os quais serão tratados nos próximos itens.

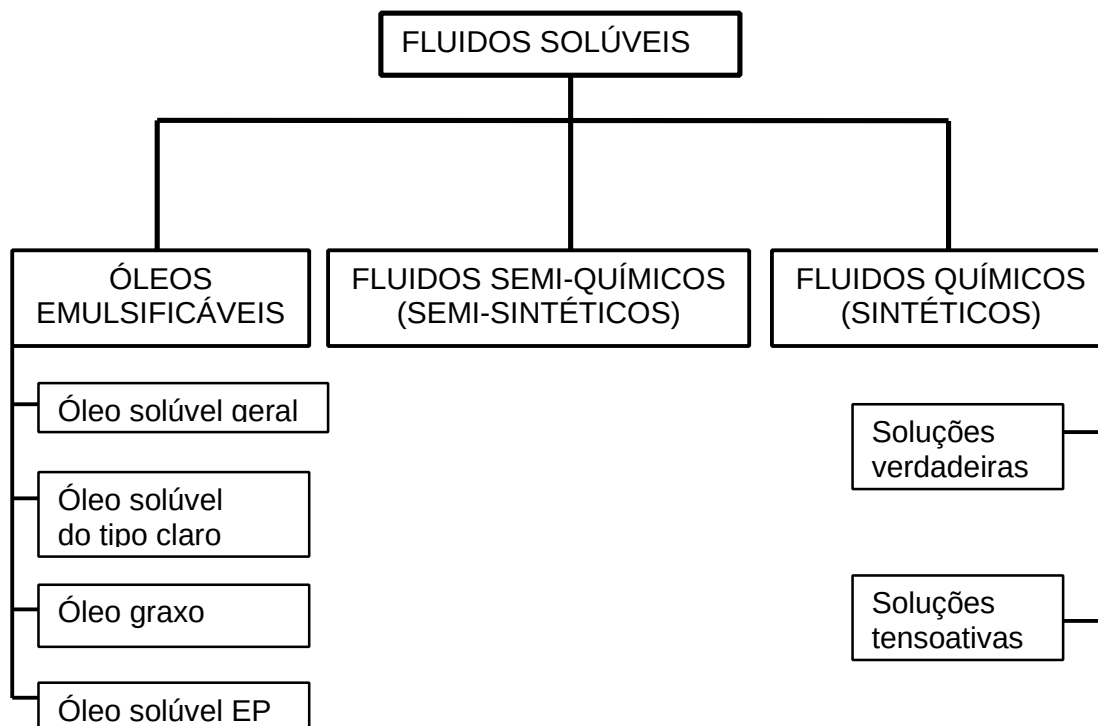


Figura 1 - Classificação dos fluidos solúveis em água (EL BARADIE, 1996; adaptada).

2.3.2.1 Óleos Emulsificáveis ou Emulsões

Uma emulsão é uma suspensão de gotículas de óleo em água produzidas por uma mistura de óleo com agentes emulsificantes e outros materiais (EL BARADIE, 1996; SILLIMAN, 1992).

Segundo Runge e Duarte (1990), as emulsões são suspensões formadas por gotas de óleo mineral em água, sendo que esta mistura é facilitada pela ação dos agentes emulgadores⁵, e acopladores⁶.

Segundo El Baradie (1996), esses emulsificantes quebram o óleo em minúsculas partículas e as mantêm dispersas na água por longos períodos.

Conforme Runge e Duarte (1990), os emulgadores são necessários por que a estabilização das emulsões de óleo solúvel depende de materiais tensoativos, que fornecem à superfície de cada gotícula de óleo uma carga negativa para a sua dispersão na água, sendo que, as cargas elétricas iguais em todas as gotículas são responsáveis pela repulsão entre as mesmas e pela estabilidade da emulsão, evitando a coalescência, isto é, evitando a união das gotículas de óleo e separação da fase oleosa da aquosa. .

Qualquer fenômeno que influa sobre essas cargas elétricas resultará em instabilidade das emulsões (RUNGE E DUARTE, 1990), sendo que, segundo Bataller et al (2004), a separação em duas fases, mesmo que por um pequeno tempo, restringirá o uso da emulsão como fluido de corte por que terá sua capacidade de lubrificação reduzida.

Segundo Bataller et al (2004), o fluido de corte concentrado comercial, geralmente, contém uma mistura de surfactantes⁷ aniônicos e não-iônicos, sendo que, as misturas surfactantes aumentam a capacidade de solubilização dos surfactantes e em alguns casos pode facilitar a formação espontânea de uma emulsão quando o sistema é colocado em contato com a água, uma vez que a presença de um surfactante aniônico em uma mistura surfactante fornece carga negativa para as gotículas de óleo da emulsão.

⁵ Emulgadores são tensoativos polares que agem como dispersantes, uma vez que reduzem a tensão superficial e formam uma película monocelular relativamente estável na interface óleo / água, sendo os sabões de ácidos graxos, as gorduras sulfatadas, os sulfonatos de petróleo e os emulgadores não-iônicos os principais tipos utilizados (RUNGE E DUARTE, 1990).

⁶ Acopladores são solventes mútuos, que agem acoplando o óleo mineral ao emulgador e também compatibilizando o óleo acabado com a água, sendo exemplos de acopladores modernos os álcoois sintéticos e em desuso os fenólicos, por que são nocivos à saúde (RUNGE E DUARTE, 1990).

De acordo com Silliman (1992), a adição de óleos graxos (animal ou vegetal) ou outros ésteres, produzem emulsões supergordurosas de enorme valor lubrificante e a adição de enxofre, cloro ou fósforo produz fluido com valor lubrificante maior ainda, os quais são chamados de emulsões de extrema pressão.

Segundo El Baradie (1996), as emulsões combinam as propriedades lubrificantes e não corrosivas do óleo com as excelentes propriedades refrigerantes da água, sendo que, a corrosão e a contaminação que ocorrem devido à presença da água são controladas pela ação dos aditivos anticorrosivos e bactericidas respectivamente.

Quanto à utilização de biocidas, conforme Rossmore e Rossmore (1996), observa-se, inicialmente nos Estados Unidos, a partir dos anos 70, que severas restrições foram impostas a uma grande quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos, potencialmente tóxicos, incluindo os compostos à base de fenol e seus derivados, limitando-os a um residual de 50 ppb no descarte final, o que requer atenção especial na seleção dos bactericidas.

Segundo Bartz (2001), os fluidos de corte miscíveis em água apresentavam, até pouco tempo atrás, em sua formulação, componentes tais como: Nitrosaminas (N-nitrodietanolaminas), formaldeídos, substâncias orgânicas contendo parafinas cloradas e bifenis policlorados, substâncias orgânicas contendo fósforo, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (benzo(a)pireno), substâncias contendo boro e chumbo etc., os quais foram categorizados como substâncias problemáticas para a saúde e o meio ambiente, sendo então removidas e /ou substituídas ao longo do tempo.

Importante ressaltar que, segundo Bartz (2001), todas essas remoções e substituições devem ser realizadas com vistas à meta de não afetar adversamente a desempenho dos fluidos de usinagem.

Conforme Bataller et al (2004), as emulsões, usualmente, são obtidas pela diluição de um fluido de corte concentrado em água, nas concentrações adequadas para cada tipo de operação de usinagem, sendo que, para facilitar o uso, esse concentrado deve ser estável, não viscoso e apresentar uma aparência monofásica.

⁷ Surfactantes são substâncias com propriedades tensoativas, isto é, que possuem o poder de se concentrar na superfície de um líquido ou na interface de dois líquidos imiscíveis (...).

Os fabricantes de fluidos de corte fornecem óleos emulsionáveis para o usuário misturar com a água. Esta mistura pode variar de 1:100 até 1:5 partes de óleo para água.

Conforme apresentado na figura 1, segundo El Baradie (1996), os quatros (04) tipos principais de óleos emulsionáveis são:

Tipo geral: são fluidos leitosos com gotículas de 0,005 mm a 0,2 mm de diâmetro, sendo comumente utilizados em diluições de 1:10 a 1:40, sendo empregados em processos de usinagem geral.

Tipo claro ou translúcido: contém menos óleo, com maiores proporções de inibidores de corrosão e consideravelmente maiores quantidades de emulsificantes do que as emulsões leitosas. Consistem de uma dispersão de óleo com minúsculas gotículas de óleo as quais são mais amplamente distribuídas e uma vez que há menos dispersão da luz transmitida, o fluido é menos opaco e o resultado é um líquido translúcido. Esses óleos geralmente são empregados em operações de retificação ou em serviços leves de usinagem.

Óleos graxos emulsificáveis (solúveis): são compostos por óleos graxos de origem animal ou vegetal ou outros ésteres adicionados aos óleos minerais para fornecer um tipo de fluido com propriedades lubrificantes intensificadas.

Óleos emulsificáveis com EP (Efeitos de Extrema Pressão): esses óleos contêm enxofre, cloro ou fósforo para melhorar a eficiência da lubrificação. Esses fluidos são comumente indicados para as operações mais pesadas, onde a capacidade de lubrificação dos óleos emulsificáveis e as propriedades de refrigeração dos óleos de corte são inadequadas.

De acordo com El Baradie (1996), as emulsões com propriedades lubrificantes são mais eficientemente empregadas em operações de corte com alta velocidade e baixa pressão acompanhada por considerável geração de calor. Elas podem ser utilizadas para praticamente todas as operações de corte leves e moderadas, assim como, na maioria das operações pesadas, exceto aquelas que envolvem materiais extremamente difíceis para usar.

2.3.2.2 Fluidos químicos ou sintéticos

De acordo com Rios (2002), os fluidos químicos ou fluidos sintéticos, que também são chamados de soluções verdadeiras, são totalmente isentas de óleo de

qualquer natureza, seja animal, mineral ou vegetal, sendo que, este tipo de fluido de corte é miscível com a água, ou seja, uma vez misturados é impossível separá-los.

Os fluidos químicos ou sintéticos são soluções químicas constituídas de substâncias, inorgânicas e/ou outros materiais, dissolvidas em água e que não contêm óleo mineral, sendo que, todos são refrigerantes e alguns são também lubrificantes (EL BARADIE, 1996).

RUNGE e DUARTE (1990), posicionam estes fluidos na categoria soluções dentro do tipo fluidos de cortes solúveis em água.

Segundo Silliman (1992), El Baradie (1996), esses fluidos podem conter materiais inorgânicos tais como: boratos, molibdatos e fosfatos, para fins de inibição da corrosão e redução da dureza da água e substâncias orgânicas tais como: aminas e amidas, para proteção suplementar anticorrosão, sabões e agentes umectantes, com a finalidade melhorar a lubrificação e reduzir a tensão superficial. Acrescentam ainda que álcoois complexos são comumente utilizados como agentes umectantes, assim como, compostos de cloro, fósforo e compostos de enxofre para lubrificação química e os germicidas, para controlar o crescimento de bactérias.

Segundo El Baradie (1996), o uso de fluidos contendo nitritos podem representar um perigo e estavam sob revisão nos Estados Unidos da América pelo Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH, sigla em inglês) e de acordo com Runge e Duarte (1990), foi provada a presença, em fluidos de corte solúveis contendo nitritos e alcanolaminas, a presença de n-nitrosodietanolamina, material sob suspeita de ser cancerígeno.

SILLIMANN (1992), EL BARADIE (1996) e MOBIL OIL (1983 apud QUEIROZ, 2001), classificam os fluidos químicos em dois (02) grupos gerais, quais sejam: tipo solução verdadeira (sem agente umectante) e tipo solução tensoativa (com agente umectante).

2.3.2.2.1 Tipo soluções verdadeiras

As soluções verdadeiras, isto é, sem agentes umectantes, também são chamadas de soluções químicas ou fluidos químicos para retificação, sendo constituídas de inibidores de corrosão, agentes sequestrantes, aminas, fosfatos, boratos, glicóis ou óxidos de etileno ou de propileno condensados. Alguns destes fluidos contêm inibidores de corrosão altamente desenvolvidos, tais como, nitrito de sódio para ferro fundido, trietanolamina para ferro fundido e aço e o

mercaptobenzothiazole de sódio para redução da corrosão no latão, zinco e alumínio (EL BARADIE, 1996).

Segundo Silliman (1992), o grupo de fluidos químicos sem agentes umectantes, usualmente, não apresentam boa capacidade lubrificante e muitas deixam depósitos cristalinos produzidos pela evaporação da água, o que, eventualmente, interfere no funcionamento da máquina. Entretanto, segundo Runge e Duarte (1990), oferecem boa proteção anticorrosiva e boa refrigeração, sendo, geralmente, usados como fluidos para retificação de desbaste.

As soluções verdadeiras são usadas com diluições de até 1:50, quando se busca que entre suas funções predomine a prevenção da corrosão, ou, até 1:100 nas operações de usinagem onde se deseja que predomine uma alta refrigeração e uma ação preventiva moderada contra a corrosão (QUEIROZ, 2001).

As soluções verdadeiras têm aparência clara, mas, freqüentemente, são oferecidas coloridas para indicar sua presença na água (EL BARADIE, 1996).

2.3.2.2.2 Tipo soluções tensoativas (com agente umectante)

Segundo Silliman (1992), as soluções tensoativas com agentes umectante e lubrificante apresentam baixa tensão superficial e boas propriedades anticorrosivas.

De acordo com el Baradie (1996), os fluidos químicos do tipo tensoativos são soluções coloidais compostas de substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas na água com agentes umectantes, isto é, com aditivos tensoativos, sendo que, estes agentes umectantes melhoram a ação umectante da água e promovem maior uniformidade tanto da dissipação do calor quanto da ação anticorrosiva.

Os agentes umectantes permitem que o fluido se espalhe mais eficientemente sobre as superfícies metálicas, aumentando as suas propriedades de refrigeração e mesmo não contendo óleo, a lubrificação química proporcionada pelos agentes umectantes proporciona suficiente poder lubrificante para operações de severidade moderada de corte. (RUNGE E DUARTE, 1990).

O aumento da quantidade e a melhora na distribuição dos concentrados produzem soluções que variam de cores claras a transparentes, até totalmente opacas. O percentual de diluição pode ser de uma parte de concentrado para 10 a 40 partes de água.

Segundo El Baradie (1996), as soluções tensoativas EP possuem características similares às soluções tensoativas com agentes umectantes, porém,

contêm aditivos que conferem propriedades de extrema pressão, tais como, enxofre, cloro e fósforo melhorando as propriedades lubrificantes.

Segundo Queiroz (2001), as soluções tensoativas possuem excelente capacidade de refrigeração, boas umectação, boa proteção anticorrosiva e sofrem menos a ação de microorganismos, mantendo um pH mais estável, sendo, normalmente utilizadas em operações de retificação, mas, também, podem ser empregadas em outras operações de alta velocidade de corte e forças de corte reduzidas.

Apesar de seu grande uso, hoje, na indústria, sabe-se que as mesmas possuem uma série de inconvenientes: são mais caras do que as emulsões convencionais; sua alta estabilidade cria problemas de descarte e de determinação de sua concentração; tendem a concentrar-se com o uso; sua forte ação detergente tende a desengraxar ou eliminar o óleo lubrificante de várias partes das máquinas (QUEIROZ, 2001).

Segundo Rios (2002), os fluidos sintéticos são facilmente removíveis das peças, não exigindo nenhum tipo de sistema desengraxante mais complexo.

2.3.2.3 Fluidos semi-sintéticos

Segundo El Baradie (1996), os fluidos semi-químicos ou semi-sintéticos são essencialmente, uma combinação de fluidos químicos e óleos solúveis em água, sendo que, esses fluidos, atualmente, são emulsões químicas que contêm somente uma pequena quantidade de óleo mineral emulsificável, cerca de 5 a 30% de fluido básico, o qual é adicionado para formar uma solução translúcida estável. Desde que os usuais aditivos EP possam ser incorporados, o desempenho da lubrificação pode ser variado para permitir o uso desses fluidos tanto para serviços de usinagem moderados quanto pesados e aplicações de retificação. Os fluidos semi-químicos combinam as melhores qualidades dos fluidos químicos e dos óleos emulsificáveis. As vantagens e limitações são similares àquelas descritas para os fluidos químicos, exceto que, os fluidos semi-químicos apresentam melhores propriedades lubrificantes do que os fluidos químicos. A aparência desses fluidos é clara e apresentam melhor controle da corrosão e rancidificação do que os óleos emulsificáveis.

Segundo Runge e Duarte (1990), os fluidos semi-sintéticos apresentam um teor de óleo mineral menor que os óleos solúveis (menos de 50% no fluido

concentrado). Possuem alto teor de emulgadores, e, conseqüentemente, formam glóbulos de óleo menores, o que resulta em emulsões translúcidas ou transparentes o que faz com que, freqüentemente, sejam confundidas com as soluções. Este tipo de fluido apresenta boas propriedades de umectação e de lubrificação e baixo potencial de corrosão e de ataque bacteriano. Geralmente possuem suficiente poder lubrificante para aplicações moderadas a pesadas. Com melhores propriedades de umectação que os óleos solúveis convencionais, permitem mais altas velocidades e avanços. Possuem usualmente propriedades de decantação e de limpeza (devido ao mais alto teor de detergentes) do que os óleos solúveis convencionais, contribuindo assim, para mais longa vida útil nos sistemas de refrigeração. Devido ao baixo teor de óleo não fumaceiam e acarreta menor formação de névoas.

Segundo Queiroz (2001), os fluidos semi-sintéticos são concebidos para atender às exigências tanto de uma boa refrigeração como de uma razoável lubrificação. Basicamente, resultam da combinação dos fluidos sintéticos e das emulsões, com o acréscimo das seguintes características: Menor teor de óleo mineral (p. ex: 10 a 45%) do que quando comparado às emulsões. Menor teor de emulsificadores ou substâncias tensoativas. São duráveis e resistentes aos microorganismos com a vantagem de não possuírem o inconveniente potencial corrosivo dos fluidos sintéticos ou os problemas de estabilidade das emulsões.

2.3.3 Gases como fluídos de corte

Segundo El Baradie (1996), os lubrificantes gasosos parecem muito atrativos quando a penetração do fluido de corte é um problema a ser considerado e o ar tem sido utilizado na usinagem a seco, assim como, gases tais como o Argônio, Helio e o Nitrogênio são algumas vezes utilizados para prevenir a oxidação da peça e dos cavacos, mas os altos custos, geralmente, inviabilizam economicamente sua aplicação em produção.

Pahlitzsch (1951 apud Shaw, 1984) detectou sensíveis melhoras na vida da ferramenta de corte testando o dióxido de carbono e o nitrogênio e concluiu que esta melhoria seria devida ao efeito da exclusão do oxigênio. Simon (1992), por sua vez, relatou que o uso desses fluidos pode ser econômico na redução do desgaste de ferramentas de carbono na usinagem de ligas de titânio e outros materiais.

Segundo Silva, Bianchi e Oliveira (2005), gases como o CO₂, os quais possuem ponto de ebulição abaixo da temperatura ambiente, podem ser

comprimidos e injetados na região de corte promovendo sua refrigeração, entretanto, grandes gradientes térmicos devem ser evitados, visando impedir distorções nas peças, surgimento de tensões residuais etc.

De acordo com Alves (2005), a vantagem da utilização de gases inertes para fins de refrigeração reside no fato destes possibilitarem um aumento do poder refrigerante na região de corte, ausência de contaminação da peça e dos cavacos, além de permitirem uma visualização mais clara da região de corte.

Considerando que as operações de corte são foco de atenção para a proteção do meio ambiente, Liu et al. (2004), apresentaram um experimento cujos resultados demonstraram que utilizando vapor d'água como refrigerante e lubrificante, comparativamente com o corte a seco, ar comprimido e fluido de corte emulsificável, consegue-se, entre outras, melhorias tais como: a redução das forças de corte, do coeficiente de fricção, do coeficiente de deformação do cavaco, da temperatura de corte, além de ter as vantagens de ser barato, livre de poluição e não necessitar de descarte ou reciclagem, o que demonstra ser uma técnica de corte verde, isto é, trata-se de uma boa prática ambiental.

Segundo Stanford, Lister e Kibble (2007), estudos e pesquisas estão sendo empreendidos com o objetivo de reduzir ou até mesmo eliminar totalmente a dependência dos fluidos de corte, sendo que, um ambiente de corte rico em nitrogênio demonstrou oferecer uma significativa melhoria para a vida de ferramenta e pode, agora, ser considerado como uma alternativa “limpa” para os fluidos de corte convencionais.

2.3.4 Pasta e lubrificantes sólidos

Segundo Silva, Bianchi e Oliveira (2005), dentre as pastas e lubrificantes sólidos, existem aqueles que são aplicados manualmente sobre a peça e na ferramenta em operações de mandrilhamento e, em alguns casos, rebolos são impregnados com lubrificantes sólidos, durante o processo de fabricação, sendo que, os lubrificantes sólidos mais utilizados para operações de elevada severidade são a grafite, o bissulfeto de molibdênio, alguns tipos de pastas, sabões e ceras.

Considerando que o fluido de corte é a principal fonte poluição em processos de usinagem, Reddy e Rao (2005), investigaram o papel do lubrificante sólido como uma tecnologia ambientalmente limpa para alcançar o desejável controle da temperatura durante o corte. Em sua experiência utilizaram grafite e bissulfeto de

molibdênio para a usinagem com aço AISI 1045, utilizando ferramentas de diferentes geometrias, sendo que, os resultados indicaram que há uma considerável melhoria no desempenho do processo quando comparado com a aplicação do fluido de corte convencional. A utilização dos lubrificantes sólidos demonstrou ser bem sucedida na redução das forças de corte e da energia específica, no acabamento da superfície e no tamanho dos cavacos, sendo que, a experiência revelou também que a fricção entre a peça e a ferramenta reduziu significativamente ao se utilizar o bissulfeto de molibdênio quando comparado com a grafite e o fluido convencional. Entretanto, apesar do sucesso obtido na lubrificação, recomendam atenção e maiores estudos quanto aos quesitos relacionados à ação do fluxo do fluido convencional e a limpeza da máquina-ferramenta.

2.3.5 Fluidos de corte biodegradáveis

De acordo com Walsh e Col (1980 apud Coelho, 2006), compostos tóxicos em uma mistura modificam seletivamente a composição da comunidade biológica que a degradaria, alterando a sua atividade, sendo que, a adição de agentes biocidas em misturas de compostos químicos, para protegê-los da biodegradação e aumentar a vida útil dos produtos, tais como os fluidos de corte, torna-os mais persistentes quando liberados para o ambiente.

Segundo Eisentraeger et al. (2002), a biodegradabilidade é um dos mais importantes aspectos no que diz respeito ao descarte das substâncias no meio ambiente, sendo que, os fluidos de corte a base de ésteres sintéticos ou naturais são facilmente biodegradáveis em contraste com os óleos minerais.

Também para Suda et al. (2002), a mais importante medida de compatibilidade ambiental dos lubrificantes é a sua biodegradabilidade, sendo que, em contraste com os óleos de base mineral, os óleos vegetais apresentam alta biodegradabilidade, assim como, os ésteres sintéticos fornecem uma ampla faixa de biodegradabilidade, dependendo da combinação das estruturas moleculares de ácidos e álcoois.

Na busca por fluidos de corte com características de biodegradabilidade, isenção de toxidade e segurança fisiológica, Oliveira e Alves (2006), formularam um fluido de corte à base de óleo de mamona sulfonado, desenvolvido para o processo de retificação a altas velocidades com rebolo de CBN vitrificado, cujos resultados apresentaram, na concentração de 21%, um desempenho superior aos outros

fluidos comerciais à base de água e semelhante ao do óleo mineral com relação ao desgaste do rebolo e qualidade superficial da peça, sendo que, depois de analisado quimicamente, foi considerado facilmente biodegradável.

No desenvolvimento desse novo fluido de corte, Oliveira e Alves (2006) propuseram uma fórmula, a partir de óleo vegetal e contendo poucos tipos de aditivos, cuja composição incluiu bactericida derivado de triasina, agente emulsificante poliglicol de éster sintético, uma composição de ésteres sintéticos como inibidor de corrosão, óleo de mamona sulfonado (80%) e água, sendo que, para testar a biodegradabilidade do novo produto utilizaram o método *Ready Biodegradability: 301B CO₂ Evolution Test* e os resultados da análise de biodegradabilidade lhes permitiram concluir que o novo fluido de corte é biodegradável e, do ponto de vista ecológico, não é agressivo ao meio ambiente e seu tratamento e descarte podem ser feitos com maior facilidade.

2.4 Aspectos que influenciam a vida útil dos fluidos de corte

Conforme constatado no diagnóstico realizado no âmbito do projeto programa piloto para a minimização dos impactos gerados por resíduos perigosos ao tratar da gestão de resíduos fluidos de usinagem, a eficácia na utilização dos fluidos de corte pode ser melhorada, evitando sua contaminação e desperdício, por meio da adoção de boas práticas e técnicas de produção mais limpa, com a conseqüente redução dos riscos à saúde ocupacional e dos danos ambientais, uma vez que, fluidos de usinagem, quando manejados inadequadamente, acabam atingindo o solo, o ar, a fauna, a flora e os recursos hídricos, causando sérios prejuízos ao meio ambiente (CNTL, 2006).

Os itens a seguir destacam aspectos que influenciam diretamente a vida útil dos fluidos de corte.

2.4.1 Aspectos tecnológicos na utilização dos fluidos de corte

De acordo com Teixeira (2007), os fluidos de corte são substâncias auxiliares importantes para a melhoria do desempenho dos aspectos tecnológicos da usinagem nas indústrias do setor metal mecânico, sendo que, o aumento das exigências ambientais para as indústrias, incentivou e promoveu pesquisas visando encontrar soluções para adequar os tradicionais processos de usinagem às condições de produção limpa. Com isso, nos últimos anos, a evolução das

ferramentas de corte, tanto os materiais quanto os revestimentos, e das máquinas-ferramenta, está promovendo uma redução significativa da necessidade do uso de fluidos de corte nos processos de usinagem.

Segundo Stanford, Lister e Kibble (2007), o desgaste e eventuais defeitos das ferramentas de corte são conseqüências naturais de todas as operações de usinagem e foi objeto de pesquisa pela maior parte do século passado. A demanda por alta produtividade e redução de custos, juntamente com a introdução da legislação ambiental tem requerido uma revisão das práticas de refrigeração convencionais e a avaliação de outras possíveis alternativas.

Conforme a ASM (1991); Webster (1999); Minke (1999) e Machado & Diniz (2000 apud Catai, 2004), uma tecnologia adequada possibilita a aplicação correta dos fluidos de corte permitindo atingir melhor a interface peça-rebolo, o que possibilita aumentar a velocidade de corte, as taxas de avanço e a profundidade de corte, além de aumentar a vida útil da ferramenta, a precisão dimensional da peça, a diminuição da rugosidade e da potência consumida durante o processo de usinagem, o que, conseqüentemente, resulta em aumento de produtividade e redução de custos dos produtos fabricados.

Entretanto, de acordo com SALES, DINIZ e MACHADO (2001), as vantagens econômicas advindas da utilização dos fluidos de corte trazem, também, problemas tais como doenças ocupacionais e o descarte dos resíduos gerados, fatos estes que levaram a busca de alternativas tecnológicas, tais como: usinagem a seco e a usinagem com mínima quantidade de fluido (MQF), objetivando minimizar ou até mesmo eliminar o uso de fluido de corte.

No que se refere ao desenvolvimento de novos tipos de fluidos de corte, segundo Teixeira, Schroeter, Weingaertner (2005), a evolução tecnológica dos fluidos fez com que diversos produtos fossem empregados com fins específicos para melhorar o desempenho do fluido de corte em cada operação de usinagem, sendo que, esta evolução visou, inicialmente, o aumento da eficiência dos fluidos de corte, deixando para segundo plano as conseqüências nocivas aos operadores e ao meio ambiente. Porém, atualmente, com aumento da preocupação com a poluição ambiental associada à necessidade de cumprir a legislação vigente, observa-se uma tendência de reformulação na composição dos fluidos de corte, de forma a eliminar de suas fórmulas os produtos tóxicos.

2.4.2 Métodos de manuseio e perdas no processo

Segundo Ignácio (1998), os métodos de manuseio devem ser discutidos com os fornecedores, uma vez que, o manuseio correto poderá evitar o uso do fluido de corte em equipamentos inadequados; direcionamento ineficiente do fluido; reaproveitamento de fluidos incompatíveis; concentração irregular; adição irregular de biocidas; qualidade e quantidade da água; mistura invertida (água no óleo); agitação ineficiente no momento da mistura; falta ou inadequado controle e registros.

De acordo com Byrne (1996 apud Filho, 2006), as perdas de fluidos de corte acontecem nos componentes das máquinas, nos dispositivos de fixação e manuseio, no sistema de pressurização do ar, na formação de gotas e vazamentos e ainda nos resíduos presentes nas peças e cavacos após a usinagem, sendo que, estas perdas podem atingir, aproximadamente, 30% do volume total utilizado.

Conforme Smith (1996); Klocke et al. (2000a apud Catai, 2004), os vazamentos e perdas, emissões, água de lavagem e a incorreta disposição final dos fluidos de corte podem causar a contaminação do solo, água e ar.

2.4.3 Influência da qualidade da água

Segundo Bienkowski (1993), considerando-se que os fluidos miscíveis em água podem consistir de até 99% de água, então a qualidade da água utilizada para diluir o fluido concentrado é essencialmente importante na preparação da solução.

Também para Silliman (1992) e El Baradie (1996), a qualidade da água é de extrema importância para o uso eficiente de fluidos de corte aquosos, uma vez que, a vida útil do sistema, a eficiência da filtração, as características da espuma formada, e até mesmo a vida da ferramenta e o acabamento final da peça são influenciados pela qualidade da água.

De acordo com Bienkowski (1993), para assegurar a qualidade da água de preparação dos fluidos de corte é importante monitorar os parâmetros de dureza total e os sólidos totais dissolvidos (STD).

A dureza total da água é a causada quase inteiramente pela presença de íons de cálcio e magnésio, entretanto outros elementos tais como: ferro e alumínio e ocasionalmente o zinco, também podem estar presentes em menores quantidades, podendo produzir efeitos indesejáveis (SILLIMAN, 1992).

Segundo Runge e Duarte (1990), Silliman (1992), os cátions de cálcio e magnésio, presentes na água dura, podem reagir com os sabões, agentes

umectantes e emulgadores, que compõem o fluido de corte, resultando em compostos insolúveis; reduzindo a reserva de inibidores de corrosão e biocidas; obstruindo tubulações e formando depósitos pegajosos na máquina. Também a presença, em excesso, de íons negativos, tais como: sulfato, cloreto, carbonato e bicarbonato podem influir negativamente sobre a estabilidade das emulsões; diminuir a vida útil do fluido de corte; provocar problemas de pele; promover *pitting* e manchamento nos materiais e conseqüentemente, reduzir o desempenho geral do produto.

Além disso, conforme Rossmore et al (1964) apud Silliman (1992), os sulfatos são particularmente deteriorantes por que possibilitam o crescimento de bactérias redutoras de sulfato, as *Desulfovibrio desulfuricans*, as quais produzem o odor de “ovo podre”.

Segundo Runge e Duarte (1990) a tabela 3 fornece uma classificação genérica quanto à dureza da água, sendo que, a dureza pode ser permanente ou temporária e é expressa em termos de carbonato de cálcio (CaCO_3), isto é, carbonato de cálcio equivalente ao teor de sais de cálcio e magnésio na água.

Tabela 3 – Classificação genérica quanto à dureza da água (Runge e Duarte, 1990; adaptada)

Classificação genérica	Teor de CaCO_3 Partes por milhão
Branda	0 a 50
Moderadamente branda	50 a 100
Ligeiramente dura	100 a 150
Moderadamente dura	150 a 200
Dura	200 a 300
Muito dura	Acima de 300

Um teor elevado de cátions, acima de 200 ppm (partes por milhão), certamente será prejudicial às emulsões, por outro lado, a ausência total ou a presença de poucos íons poderá resultar em problemas de formação de espuma (RUNGE E DUARTE, 1990).

Outro parâmetro a ser monitorado, segundo Bienkowski (1993), é a concentração de sólidos totais (STD) dissolvidos na água, uma vez que, durante o uso normal da solução, a evaporação da água aumenta a concentração do fluido de corte o que requer reposição de água. A reposição diária adicionará minerais que estão dissolvidos na água o que, conseqüentemente, aumentará a concentração de sólidos totais dissolvidos no fluido de corte prejudicando sua aplicação e eficiência.

2.4.5 Influência da concentração da solução e da variação do pH

Segundo Tuholski (1993), a concentração mede a atividade dos componentes presentes no fluido de corte, sendo que, a utilização de uma solução com a concentração muito alta, além de provocar problemas tais como: aumento do custo, redução da dissipação do calor e do poder de lubrificação etc. e poderá, também, aumentar a toxicidade do fluido, particularmente se o fluido se tornar superconcentrado devido à evaporação.

Conforme Bienkowski (1993), esta condição resultará em aumento dos sintomas de irritação de pele e em um indesejável ambiente de trabalho para o operador e por outro lado, concentrações muito diluídas resultarão em uma lubrificação ineficiente, diminuição da vida útil da ferramenta, aumento da atividade biológica, além de maior risco de desenvolvimento de oxidação nas superfícies recém usinadas.

O pH é a medida da concentração do íon Hidrogênio e segundo Runge e Duarte (1990), é a maneira de medir a acidez ou a alcalinidade de uma solução aquosa, sendo que, a água destilada tem pH 7,0; substâncias ácidas têm pH < 7,0 e alcalinas têm pH > 7,0.

De acordo com Bienkowski (1993), idealmente, o pH dos fluidos de corte solúveis em água deve ser mantido na faixa de 8,6 a 9,0; uma vez que, dentro deste limite há uma boa proteção anticorrosiva, o potencial de desenvolvimento de dermatites é minimizado, além de controlar o crescimento microbiológico. Se o pH cai abaixo de 8,5, o fluido perde eficiência, pode atacar os metais ferrosos e a atividade biológica aumenta. Já o pH maior do que 9,0 pode causar dermatites e corrosão de metais não-ferrosos.

2.4.6 Influência da degradação microbiológica

De acordo com Rossmore e Rossmore (1994), desde que a água tornou-se um componente essencial para os fluidos de corte, os microorganismos têm sido um problema que necessita de controle e muitas estratégias têm sido oferecidas para prevenir a deterioração microbiológica, uma vez que, segundo Rossmore (1995), o resultado primário do crescimento microbiológico em fluidos de corte é a deterioração do fluido, o que pode causar perda de produção e corrosão da peça usinada e da máquina-ferramenta.

Segundo Morton (1987 apud Capelletti, 2006), as cadeias de hidrocarboneto e as águas presentes na composição dos fluidos de corte são elementos nutritivos para os microorganismos, o que torna os fluidos de corte susceptível à contaminação microbiológica.

De acordo com Rossmore (1995), a biodeterioração dos fluidos de corte solúveis em água deve-se ao desenvolvimento de bactérias sulfato-redutoras e pseudomonas oleovorans, sendo que, a produção de H_2S (sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico) e a separação/quebra da emulsão do óleo solúvel por esses microorganismos contribui para a subsequente corrosão da peça usinada e da máquina ferramenta, além disso, implica não apenas em elevação com custos, tais como: perda de tempo produtivo, diminuição da vida útil do fluido que requer reposição, reclamação dos trabalhadores, mas, também, em problema ambiental com o descarte e disposição final.

Segundo Runge e Duarte (1990), Rossmore (1995), além das bactérias aeróbicas e anaeróbicas, as soluções também são deterioradas por fungos, os quais proliferam mais rapidamente quando o crescimento das bactérias é totalmente inibido, sendo que, o crescimento descontrolado dos fungos causa problemas maiores do que as bactérias, uma vez que, podem provocar total obstrução das tubulações e filtros, além de formarem uma camada sobrenadante de material viscoso nas emulsões e também serem mais difíceis de remover e eliminar.

Conforme Capelletti (2006), o circuito do fluido de corte no processo de usinagem de metais é composto por várias etapas que envolvem a recirculação do mesmo por um determinado período de utilização e de exposição a condições adversas, próprias do processo, tais como canaletas de passagem, reservatórios e a própria máquina-ferramenta e, em alguns tipos de plantas, ocorrem também as

paradas prolongadas de produção, sendo que, este conjunto de condições favorece a instalação e proliferação microbiana em pontos críticos do sistema e a formação de biofilmes⁸, reduzindo a vida útil do produto e tornando o uso de biocidas um recurso importante no controle da proliferação de microrganismos no fluido de corte, com o propósito de evitar ou retardar o processo de descarte.

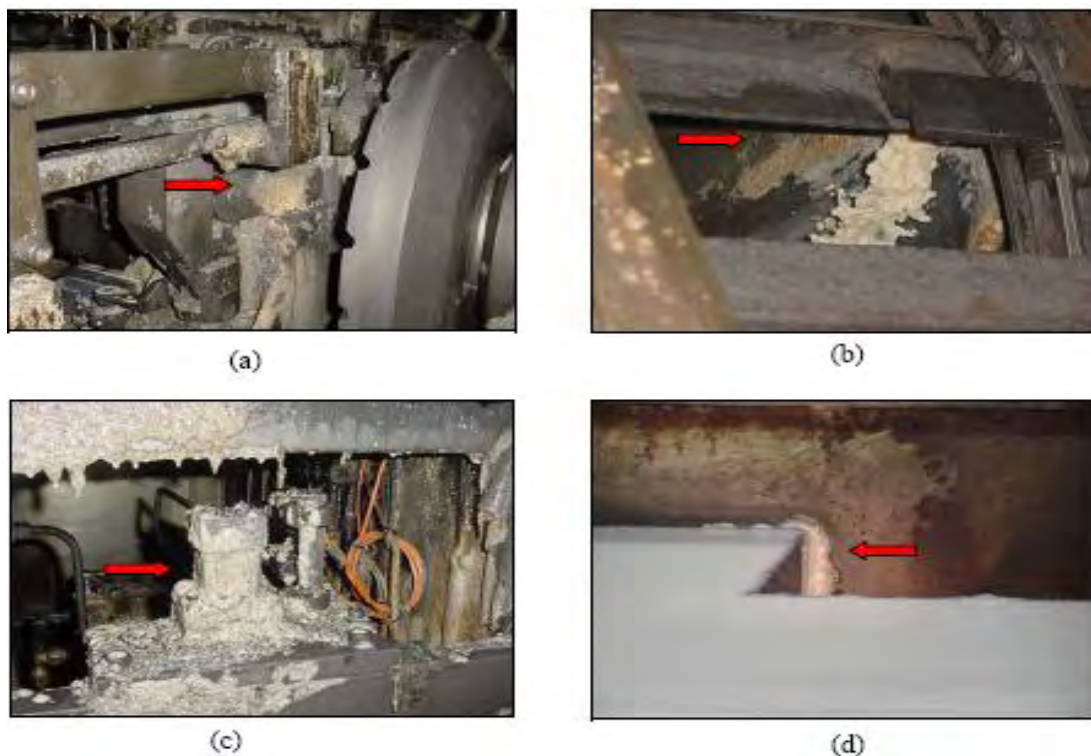


Figura 2 Biofilmes formados em uma indústria de usinagem de metais (CAPELLETTI, 2006)

A figura 10 representa a formação de biofilmes em uma indústria de usinagem de metais localizada no estado de São Paulo, sendo que, a legenda representa os seguintes sistemas: (a) sistema de engrenagens; (b) canaleta com emulsão em fluxo; (c) sensor para corte de peças; (d) tanque central da emulsão (CAPELLETTI, 2006).

⁸ Biofilmes são associações de espécies microbianas interdependentes, funcionando de forma complexa e coordenada como mecanismo de colonização de superfícies, sendo que, quando indesejavelmente instalados em uma planta industrial, os biofilmes contribuem para a contaminação de muitas áreas de processo, pois representam fontes de liberação e disseminação de microrganismos que podem deteriorar produtos, causando prejuízos financeiros e retrabalho, situação esta que pode ser prevenida e/ou controlada. No entanto, sua remoção representa um desafio, principalmente no que diz respeito à determinação do tipo e da dosagem adequada de biocida para este fim (CAPELLETTI, 2006).

Conforme Rossmore (1995), a crescente demanda por fluidos de corte bioresistentes tem resultado em melhor controle da população microbológica com biocidas ou os chamados fluidos de corte com bioestabilidade, sendo que, em ambos os casos, este processo está associado com perigos e doenças ocupacionais, tais como dermatites devidas pH alto ou aos biocidas, assim como, a síndrome respiratória aguda causada por endotoxinas e as discussões a respeito do potencial carcinogênico.

O controle microbiológico das emulsões é fundamental, pois as emulsões podem sofrer diversos tipos de contaminações. A contaminação por bactérias anaeróbias e aeróbias resulta em redução do pH, irritação na pele, corrosão, mau cheiro podendo levar a quebra da emulsão, com a formação de camadas de óleo sobrenadante. A contaminação por fungos resulta em formação de camadas sobrenadante de óleo, entupimento de filtros e tubulações. Por fim, a contaminação por líquidos estranhos tem-se uma medição inexata na concentração, acarretando em maior desgaste da ferramenta, entupimento dos filtros e névoa de óleo. As bactérias devem ser mantidas sob controle, pois é quase impossível manter uma emulsão estéril (problema com fungos, os quais são mais difíceis de serem controlados que as bactérias).

2.4.7 Contaminantes inerentes ao processo e de origem externa

Segundo Runge e Duarte (1990), uma solução de fluido de corte pode conter determinadas partículas de origem interna tais como: metálicas; abrasivas; formadas por sais da água; resultantes da degradação biológica ou da interação do fluido de corte com o metal usinado ou de origem externa tais como: poeira, óleos, soluções de limpeza, resíduos de alimentos, pontas de cigarro etc., as quais são consideradas contaminantes, uma vez que contribuirão para reduzir a vida útil do fluido de corte.

Também a ocorrência de *tramp oil*⁹ também deve ser monitorada e caso ocorra, deve ser removido sugando-se a superfície do reservatório com aspirador a vácuo ou remover com *skimmer*¹⁰ ou centrífuga (FILHO, 2006).

De acordo com Runge e Duarte (1990), a concentração desses materiais contaminantes afeta o equilíbrio dinâmico do sistema químico do fluido de corte

⁹ *Tramp oil* é a mistura de óleo do sistema hidráulico da máquina com o fluido de corte devido a vazamentos. O *tramp oil* prejudica a emulsão nos seguintes aspectos: desempenho de corte, corrosão, odor (cheiro de enxofre devido às bactérias anaeróbicas) e estabilidade.

¹⁰ *Skimmer* é um recolhedor de óleo tipo vertedouro.

provocando a redução do desempenho e da estabilidade da solução, além de causar perda de eficiência do sistema de purificação do fluido e conseqüentemente diminuindo a vida útil e antecipando o descarte da solução.

3. A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL, OS FLUIDOS DE CORTE E SUAS INTEIRAÇÕES COM O MEIO AMBIENTE.

Neste capítulo é apresentada a Legislação Ambiental aplicável aos fluidos de corte, visando um entendimento da legislação que possa permitir a utilização de fluidos de corte de forma ambientalmente segura, prevenindo as inteirações indesejáveis com o meio ambiente e as conseqüências legais decorrentes de sua utilização inadequada.

3.1 A crise ambiental e os fluidos de corte

“Uma crise é sempre uma encruzilhada, uma compulsão à tomada de decisões e, por conseguinte, uma oportunidade de mudança” (Sachs, 2007).

Para Martinez (2006), a crise ambiental é o mais recente capítulo de uma longa história de uso e exploração dos recursos naturais pelos agrupamentos humanos em diversas partes do planeta, sendo derivada da insustentabilidade dos padrões de produção e de consumo criados pela sociedade industrial que não parou de expandir-se desde a segunda metade do século XVIII até os dias de hoje, adquirindo maior alcance social e dimensões planetárias a partir da década de 1960.

De acordo com Scotto et al (2007), os questionamentos à sociedade industrial surgiram, inicialmente, nos países industrializados do hemisfério norte, “a partir do debate social e ambiental dos anos 60 e 70 com os movimentos contraculturais e ecológicos, inconformados com o modelo materialista, bélico, individualista, competitivo e degradador do meio ambiente, da sociedade de consumo”.

Ignácio (1998) discorre sobre a questão ambiental e as atividades humanas abordando que o processo natural de degradação do meio ambiente ocorre em variadas formas ao longo do tempo e tem sido responsável por diversas mudanças e alterações naturais e neste contexto, desde que a vida surgiu no planeta, a extinção das espécies sempre fez parte do processo de evolução, mas que, entretanto, foi com o surgimento do homem e suas atividades que as mudanças não só permitiram um extraordinário crescimento da população humana como também provocaram profundas modificações no meio ambiente, tais como anomalias nas cadeias alimentares, ocorrências e proliferação de doenças, extinção de várias espécies de

animais, poluição do ar e das águas, degradação do solo, e de acordo com Fernandes (2007), as mudanças climáticas, conforme relatórios publicados pelo IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Changes* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas).

Segundo Braga et al (2002), os principais componentes da crise ambiental enfrentada pela humanidade são a população, os recursos naturais e a poluição e do equilíbrio entre estes três elementos dependerá a qualidade de vida no planeta e o desenvolvimento sustentável que atenderá às necessidades da geração atual, sem comprometer o direito das futuras gerações atenderem a suas próprias necessidades, conforme definido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1988), também conhecido como Comissão Brundtland.

Raven (2006) considera que os três fatores, simultaneamente, importantes para que o ambiente possa ser sustentável e para que a biodiversidade seja conservada são os níveis da população, de consumo e de tecnologia, haja visto que, não é apenas o aumento da população que produzirá impactos sobre o ambiente, o consumo e os tipos de tecnologias usadas é que produzem impacto”.

A questão dos recursos naturais e da desejável mudança dos padrões de consumo é tão abrangente que é evidenciada em diversos pontos da Agenda 21, em especial naqueles que tratam de energia, transportes e resíduos, assim como, nos capítulos dedicados aos instrumentos econômicos, à transferência de tecnologia e à dinâmica e sustentabilidade demográfica (AGENDA 21, 1992).

Nos últimos 300 anos, o desenvolvimento tecnológico da humanidade foi inigualável e em nenhum outro período histórico foram realizadas tantas descobertas, em todos os campos da ciência, gerando uma incrível capacidade de produção e de controle de elementos naturais, entretanto, também é o período histórico em que o ser humano gerou os meios que podem levá-lo à extinção (DIAS, 2006).

Trazendo a problemática da crise ambiental para o sistema produtivo da indústria metal-mecânica, Teixeira et al. (1997) estabelecem uma inter-relação entre três importantes aspectos envolvidos em processos de fabricação, quais sejam, os aspectos econômicos, tecnológicos e ecológicos e citam que "para que uma indústria atinja o sucesso produtivo deverá obrigatoriamente encontrar um estado de produção que considere os três aspectos simultaneamente”.

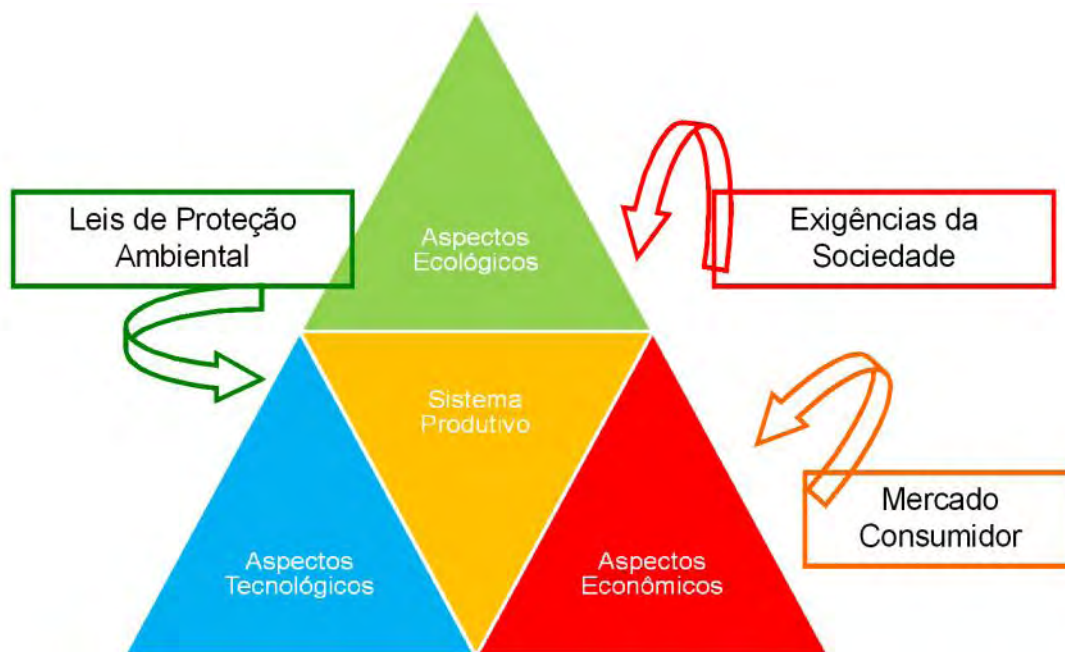


Figura. 3 - Fatores integrantes de um moderno sistema produtivo; adaptada (TEIXEIRA, 1997).

A figura 2 representa os fatores integrantes de um moderno sistema produtivo, no qual, de acordo com Teixeira et al. (1997), os aspectos ecológicos somam-se aos aspectos econômicos e tecnológicos por pressão de rigorosas leis ambientais, assim como, para atendimento de exigências da sociedade que a cada dia torna-se mais consciente da necessidade de proteção do meio ambiente e de um mercado consumidor cada vez mais exigente e interessado em empresas que ofereçam o melhor preço e atendam às normas internacionais de gestão da qualidade, ambiental e de segurança e saúde no trabalho.

Segundo Burke (1991), historicamente pode-se situar que em meados dos anos 60 aconteceram significativos avanços no descarte de fluidos de corte nos Estados Unidos, inicialmente na área de tratamento químico, sendo que, em meados dos anos 70, depois do estabelecimento da Agência de Proteção Ambiental (*EPA – Environmental Protection Agency*) os esforços das companhias contra a poluição, tornaram-se comuns, porém, somente nos anos 80 com o advento de regulamentações mais severas e o crescimento dos custos industriais com o descarte, esses esforços intensificaram-se na busca de tratamento efetivo dentro da planta. Assim, neste contexto de preocupação mundial com o meio ambiente, a indústria metal-mecânica necessita adequar seus processos visando à minimização de seus rejeitos, dentre eles os resíduos gerados ao final da vida útil dos fluidos de corte utilizados nos processos de usinagem.

3.2 Os resíduos e a poluição ambiental

Segundo Reis (2005), um dos problemas com maior visibilidade provocados pela industrialização é a destinação dos resíduos de qualquer tipo, sejam sólido, líquido ou gasoso, resultantes do processo produtivo e que afetam o meio ambiente natural e a saúde humana, sendo que, de acordo com o Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais (1998), o resíduo é o material que permanece depois da ocorrência de algum processo, como os resíduos de pesticida que permanecem no solo depois que as pragas foram eliminadas.

Resíduo é um material inútil, indesejável ou descartado, na forma sólida, líquida ou gasosa, de origem domiciliar, industrial, agrícola, comercial, de serviços ou de serviços de saúde (farmácias, clínicas, hospitais etc.), sendo que, quanto à origem dos resíduos, as fontes poluidoras podem ser pontuais ou localizadas, tais como o lançamento de efluentes de esgoto doméstico ou industrial (CETESB, 2002).

Focando a problemática nos resíduos industriais, segundo Tocchetto (2006), as atividades das indústrias geram diferentes tipos de resíduos com características próprias de seus processos, sendo que, histórica e independentemente de sua classificação, muitas vezes, são depositados inadequadamente e sem segregação, o que oferece riscos, principalmente quando perigosos, é ilegal e constitui crime ambiental.

Sendo assim, é necessária uma gestão de resíduos que intervenha nos processo de geração, transporte, tratamento e disposição final, buscando garantir a curto, médio e longo prazo, a preservação da qualidade do meio ambiente, bem como a recuperação da qualidade das áreas degradadas, e para tal, conhecer o resíduo gerado permite o planejamento de estratégias de gerenciamento, sendo que o conjunto de normas NBR 10004, 10005, 10006 e 10007 é uma ferramenta adequada para classificar os resíduos industriais (TOCCHETTO, 2006).

Quanto à poluição, o IBGE (2004) a define como sendo a degradação da qualidade ambiental resultante das atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente a biota, afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente, e lancem materiais ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Poluição industrial é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de energia ou de substâncias sólida, líquida ou gasosa, ou combinação de elementos, despejados pelas indústrias, em níveis capazes, direta ou indiretamente, de prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criar condições adversas às atividades sociais e econômicas, ocasionar danos à flora, à fauna e a outros recursos naturais (IBGE, 2004).

A poluição surge como resultado da utilização dos recursos naturais pela população, manifestando-se como uma alteração indesejável nas características físicas, químicas ou biológicas da atmosfera, litosfera ou hidrosfera que cause ou possa causar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou às atividades dos seres humanos e outras espécies ou ainda deteriorar materiais, isto é, alterações indesejáveis provocadas pelas atividades e intervenções humanas no ambiente e que causam um impacto ambiental negativo (BRAGA et al., 2002).

Para o melhor entendimento desta questão faz-se necessário a definição dos termos ambientais aspecto ambiental e impacto ambiental.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Nº 306, de 05 de julho de 2002, aspecto ambiental é definido como elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente e impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 2002).

Portanto, é necessário identificar e avaliar qualquer impacto, sobre o meio ambiente, direto ou indireto, resultante das atividades, produtos e serviços da empresa, quer sejam estes adversos ou benéficos, a fim de determinar aqueles que tenham ou possam ter impactos significativos sobre o meio ambiente (COUTINHO e TOCCHETTO, 2004).

3.3 O Processo de conscientização ambiental

A preocupação com os problemas ambientais decorrentes dos processos de crescimento e desenvolvimento aconteceu lentamente, de modo bastante diferenciado e evolutivo, entre os vários agentes, indivíduos, governos, organizações internacionais, entidades da sociedade civil etc (BARBIERE, 2005).

De acordo com Scotto et al. (2007), embora as expressões desenvolvimento sustentável e sustentabilidade apareçam, em geral, associadas a uma qualidade positiva atribuída a algum fenômeno, proposta ou prática social, a noção de desenvolvimento sustentável e a idéia de sustentabilidade constituem campos de disputa sobre diferentes concepções de sociedade e um longo caminho foi percorrido para possibilitar tanto o surgimento quanto a aceitação da associação entre desenvolvimento e preservação ambiental por diferentes grupos sociais.

Também para Sachs (2007), muita confusão semântica surgiu do uso vago do adjetivo “sustentável”, uma vez que “diferentes pessoas atribuem diferentes significados”.

Assim, um breve retrospecto faz-se necessário para o entendimento do processo de conscientização ambiental e o surgimento do conceito de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

3.3.1 Principais Conferências Internacionais sobre o Meio Ambiente

Segundo Scotto et al. (2007), “a preocupação com o meio ambiente e os impactos do modelo de desenvolvimento para o futuro do planeta” levaram a ONU (Organização das Nações Unidas) a promover a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em Estocolmo 1972, iniciando um ciclo de conferências internacionais sobre temas sociais.

Destaca-se, neste ciclo de conferências, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em 1972 e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992, dois momentos, marcos da preocupação com a sobrevivência da humanidade, nos quais as Nações Unidas reuniram-se para debater questões globais com o desafio de buscar soluções para os problemas de ordem ambiental que assolam o Planeta (SÃO PAULO, 1997).

Em consequência da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em 1972, e da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992, as regras internacionais sobre a proteção do meio ambiente se multiplicaram e tornaram-se cada vez mais abrangentes, voltadas para um tratamento global dos problemas ambientais (SÃO PAULO, 1997).

3.3.2 A Convenção sobre Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos – A Convenção da Basiléia –1989

Essa Convenção estabelece obrigações com vistas a reduzir os movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos ao mínimo e com manejo eficiente e ambientalmente seguro. Visa também à minimização da quantidade e toxicidade dos resíduos gerados e seu tratamento ambientalmente seguro e próximo da fonte geradora, bem como fornecer suporte aos países em desenvolvimento para o manejo ambientalmente correto desses e outros resíduos e para a implementação desse acordo. Essa convenção foi adotada em março de 1989 na Basiléia e entrou em vigor em maio de 1992. O Brasil é signatário da Convenção, que passou a vigorar neste país em 1992 (SÃO PAULO, 1997).

Em 1996 o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, no uso de suas atribuições e competências, publicou a Resolução CONAMA Nº 023/1996, na qual consta em seu artigo 1º que:

Art. 1º Para efeito desta Resolução serão adotadas as seguintes definições:

- a) Resíduos Perigosos - Classe I: são aqueles que se enquadrem em qualquer categoria contida nos anexos 1-A. a 1-C, a menos que não possuam quaisquer das características descritas no anexo 2, bem como aqueles que, embora não listados nos anexos citados, apresentem quaisquer das características descritas no anexo 2.
- b) Resíduos Não Inertes - Classe II: são aqueles que não se classificam como resíduos perigosos, resíduos inertes ou outros resíduos, conforme definição das alíneas a, c e d, respectivamente,
- c) Resíduos Inertes - Classe III: são aqueles que, quando submetidas a teste de solubilização, conforme NBR-10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões especificados no anexo 3.
- d) outros Resíduos: são aqueles coletados de residências ou decorrentes da incineração de resíduos domésticos.

Também, como consequência desta Convenção, constituiu-se o Centro Coordenador da Convenção da Basiléia de Capacitação e Transferência de Tecnologia na Região da América Latina e Caribe (CRCB-Ur), estabelecido no Uruguai no final de 1996, que, juntamente com o Centro Nacional de Tecnologias

Limpas do Serviço Nacional da Aprendizagem Industrial no Rio Grande do Sul (CNTL-SENAI/RS/UNIDO/UNEP)¹¹, desenvolveu no biênio 2003-2004, o Projeto “Programa Piloto para Minimização dos Impactos Gerados por Resíduos Perigosos”, visando abranger os pontos da Declaração de Basiléia a cerca da prevenção, a minimização e a gestão adequada dos resíduos, levando em consideração os aspectos sociais, tecnológicos e econômicos, assim como, a promoção e o uso de técnicas de produção mais limpa e o desenvolvimento de uma metodologia de trabalho que pudesse ser replicada em outros países da América Latina e Caribe, resultando, entre outros, na elaboração de um guia para Gestão de Resíduos Fluidos de Usinagem, o qual apresenta medidas direcionadas para a redução no descarte dos fluidos de corte, sua reciclagem e recuperação, além de objetivar, também, a sensibilização das empresas para os problemas potenciais dos fluidos de usinagem associados à saúde do trabalhador e ao meio ambiente, apresentando procedimentos preventivos e corretivos (SENAI/RS, 2006).

3.3.3 A Agenda 21, os conceitos de tecnologias limpas e a política dos 3 Rs

A Agenda 21 é um plano de ação para ser adotado global, nacional e localmente, por organizações do sistema das Nações Unidas, governos e pela sociedade civil, em todas as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente. Constitui-se na mais abrangente tentativa já realizada de orientar para um novo padrão de desenvolvimento para o século XXI, cujo alicerce é a sinergia da sustentabilidade ambiental, social e econômica, perpassando em todas as suas ações propostas (MMA).

Segundo informação contida na Agenda 21, as tecnologias ambientalmente saudáveis são aquelas que protegem o meio ambiente, são menos poluentes, usam todos os recursos de forma mais sustentável, reciclam mais seus resíduos e produtos e tratam os despejos residuais de forma mais aceitável do que as tecnologias que vieram substituir, sendo que, no contexto da poluição, são

¹¹ A escolha do Centro Nacional de Tecnologias Limpas do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial no Rio Grande do Sul (CNTL-SENAI/RS) foi pautada na sua qualificação na área de Produção Mais Limpa. Desde 1995, o CNTL SENAI integra a Rede de Centros Nacionais de Produção Mais Limpa da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), constituindo-se na instituição suporte de expertise para a Rede Brasileira de Produção Mais Limpa.

tecnologias de processos e produtos que geram pouco ou nenhum resíduo, visando a prevenção da poluição, sendo que, também compreende tecnologias de etapa final para o tratamento da poluição depois que esta foi produzida (AGENDA 21,1992).

Segundo Barbieri (2005), o conceito sobre tecnologias ambientalmente saudáveis, é o mesmo do *Cleaner Production Programme*¹² criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), em 1989, e representa uma evolução em relação às soluções convencionais baseadas no controle da poluição no final do processo produtivo, somando-se ainda, a utilização mais eficiente dos insumos produtivos.

Este conceito preconiza que os produtos devem ser projetados para facilitar a sua fabricação, utilização e disposição final após a sua vida útil, o que faz com que os fabricantes continuem responsáveis, ou seja, co-responsáveis pelos seus produtos mesmo após a sua venda e consumo juntamente com os seus usuários ou consumidores, sendo que, essa é uma exigência decorrente da necessidade de ampliar a sustentabilidade dos ecossistemas mediante novas práticas produtivas e mercadológicas que contemplem: redução da quantidade de insumos e, conseqüentemente, da geração de resíduos pela adoção de tecnologias de produto e processo mais eficientes, reutilização e reciclagem de materiais. Ou seja, por meio do que se convencionou denominar de Política dos três erres (3Rs) (BARBIERE, 2005).

Todas estas prioridades estão recomendadas na Agenda 21 em diversos de seus 40 capítulos, mas especialmente naqueles tais como: a mudança dos padrões de consumo em seu capítulo 4; o manejo ambientalmente saudável de resíduos nos capítulos 19, 20 e 21 e a contribuição das empresas industriais e comerciais em seu capítulo 30, sendo que, de acordo com os preceitos estabelecidos na Agenda 21, o manejo ambientalmente saudável dos resíduos deve contemplar não só a sua disposição final em condições de segurança, ou seu reaproveitamento, mas buscar as suas causas, procurando mudar os padrões de produção e consumo não sustentáveis (AGENDA 21, 1992).

¹² A expressão *cleaner production* (produção mais limpa) refere-se a uma ampla abordagem de proteção ambiental, que considera todas as fases do processo de manufatura e o ciclo de vida do produto, incluindo o seu uso nos domicílios e locais de trabalho e requer ações contínuas e integradas para conservar energia e matéria-prima, substituir recursos não-renováveis por renováveis, eliminar substâncias tóxicas, reduzir os desperdícios e a poluição resultante dos produtos e dos processos produtivos (PNUMA, 1993 apud BARBIERE, 2005).

De acordo com Pereira e Tocchetto (2005), o princípio dos 3Rs constitui-se de estratégias para diminuir a exploração de recursos naturais e o impacto ambiental das diversas atividades relacionadas com a vida em sociedade, sendo que, segundo Barbieri (2005), a idéia central da Política dos três erres (3Rs) consiste em atuar sobre as causas da degradação ambiental mediante ações preventivas que minimizem a geração de poluição na fonte, o que significa reduzir a quantidade utilizada de insumos materiais e energéticos para a geração de um igual volume de produção.

A minimização da geração de resíduos é uma estratégia importante no gerenciamento de resíduos e se baseia na adoção de técnicas que possibilitem a redução do volume e / ou toxicidade dos resíduos e, conseqüentemente, de sua carga poluidora, destacando-se o objetivo da prevenção da geração de resíduos perigosos, sendo que, deve-se observar, também, as vantagens econômicas das práticas de minimização de resíduos, uma vez que, oferecem uma possibilidade de redução de custos de destinação associada à alteração das características qualitativas e quantitativas dos resíduos e obtenção de receita pela comercialização dos produtos obtidos no tratamento e/ou separação dos resíduos (CETESB, 1993).

A figura 3 representa a pirâmide de consumo e seus resíduos com os 3Rs de reduzir, reutilizar e reciclar como alternativa para minimizar os impactos ambientais sobre o planeta.



Figura 4 – O Planeta Terra e os 3Rs (VICENTE, 2000).

De acordo com Pereira e Tocchetto (2005), reduzir envolve atividades e medidas para evitar o descarte de resíduos; reutilizar ou reusar consiste no reaproveitamento antes do descarte ou da reciclagem e reciclar é a forma de reaproveitar os resíduos gerados ou parte destes, no mesmo ou em outro processo produtivo.

Pode-se dizer que a hierarquia dos 3Rs segue o princípio de evitar a geração, posteriormente, a reutilização ou reuso e, por último, a reciclagem o que requer inverter a pirâmide, isto é, colocar em prática a política dos 3Rs significa que a ordem deve ser reduzir, reusar e reciclar, além disso, deve-se considerar que a geração de resíduos representa perdas no processo, ineficiência produtiva e custos ambientais de gerenciamento, ou seja, maior custo de produção (PEREIRA E TOCCHETTO, 2004).

A figura 4 representa a necessária inversão citada por Pereira e Tocchetto (2004), isto é, a situação de degradação ambiental no presente é representada pela pirâmide que tem por base a disposição, o descarte de resíduos; seguido pelo tratamento, reciclagem e em menor proporção da redução na fonte. A pirâmide invertida, denominada na figura 4 de futuro, requer a desejável mudança de paradigma onde a base é a redução na fonte.



Figura 5 - Mudando o paradigma (USEPA, 2002 apud GASI, 2002).

De acordo com Gasi (2002), quando um sistema atinge seus limites, é necessário mudar o paradigma, isto é, repensar o problema e repensar as soluções.

Segundo Tocchetto (2006), atualmente, em função da intensificação do consumo surgem, também, termos associados à questão do consumo sustentável, tais como: reconsiderar, repensar ou preciclar os quais tratam de responder à preferência do consumidor por produtos fabricados por meios produtivos mais limpos; mais duráveis; embalagens que gerem menos lixo; que gastem menos energia; tenham menores consumos de matérias primas e insumos.

Essas considerações aparecem também na análise de Barbieri (2005), conforme segue:

As práticas de produção e consumo que contemplam de modo sistemático a minimização da geração de poluição na fonte, reutilização e reciclagem de materiais reduzem as taxas de esgotamento dos recursos não-renováveis e as necessidades de produção e extração de recursos renováveis, contribuindo dessa forma para ampliar a sustentabilidade dos sistemas naturais (BARBIERE, 2005).

3.4 O meio ambiente e a Constituição Brasileira

De acordo com Ignácio (1998), é a partir da Constituição de 1988 que os assuntos pertinentes ao meio ambiente são tratados com maior profundidade e atualidade na Carta Magna, uma vez que esta reflete os 26 princípios fundamentais de proteção ambiental declarados em junho de 1972, durante a Conferência das Nações Unidas, em Estocolmo, Suécia e, também, modernas constituições de países que estão mais avançados no combate à poluição ambiental.

Em seu título VIII da Ordem Social, capítulo VI do Meio Ambiente, a Constituição Federal assegura a todos os brasileiros, por meio de seu artigo 225 que:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

O capítulo VI do meio ambiente é constituído por seis (06) parágrafos e sete (07) alíneas pertencentes ao parágrafo 1º, dentre os quais podem ser extraídos e relacionados com as boas práticas ambientais no uso dos fluidos de corte, os seguintes:

O artigo primeiro e suas alíneas IV e V:

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:
IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;
V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

O artigo terceiro e suas alíneas IV e V:

§ 3º - As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

Segundo Ignácio (1998), a Carta Magma Brasileira expressa, ainda, em outros de seus títulos, textos que valorizam os cuidados com o meio ambiente.

3.5 A legislação ambiental e a definição de meio ambiente

De acordo com a legislação brasileira, Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências; meio ambiente é o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas (BRASIL, 1981).

A Resolução do CONAMA Nº 306, de 2002 avança em abrangência conforme pode ser constatado na definição para meio ambiente, que já inclui os termos social, cultural e urbanística, à definição originalmente editada (BRASIL, 2002).

O Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA) define o meio ambiente como "tudo aquilo que cerca ou envolve os seres vivos e as coisas, incluindo o meio social-cultural e sua relação com os modelos de desenvolvimento adotados pelo homem". O conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas (IBAMA).

Já segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2004), meio ambiente é definido como o conjunto dos agentes físicos, químicos, biológicos e dos fatores sociais susceptíveis de exercerem um efeito direto ou mesmo indireto, imediato ou em longo prazo, sobre todos os seres vivos, inclusive o homem.

Em texto publicado pela Revista Educação e Pesquisa a professora Lucie Sauvé, discorrendo sobre educação ambiental cita que:

"O meio ambiente não é simplesmente um objeto de estudo ou um tema a ser tratado entre tantos outros; nem que é algo a que nos obriga um desenvolvimento que desejamos seja sustentável. A trama do meio ambiente é a trama da própria vida, ali onde se encontram natureza e cultura; o meio ambiente é o cadinho em que se forjam nossa identidade, nossas relações com os outros, nosso 'ser-no-mundo'" (SAUVÉ, 2005).

Segundo Lovelock (2006), se à época de Darwin fosse sabido que a vida e o ambiente estão tão conjugados, Darwin teria visto que a evolução não envolve

apenas os organismos, mas toda a superfície do planeta e, então, o Homem poderia ter enxergado, há mais tempo, a Terra como um sistema vivo e teria sabido que não se pode poluir o ar ou usar seus oceanos e sistemas florestais meramente como fonte de produtos para alimentá-lo e abrigá-lo.

Ainda sobre a definição de meio ambiente, nada melhor do que citar o preâmbulo da “Carta da Terra”, que reflete, traduz e qualifica a significância do meio ambiente e sua importância para a sobrevivência do planeta:

“Estamos diante de um momento crítico na história da Terra, numa época em que a humanidade deve escolher o seu futuro. À medida que o mundo torna-se cada vez mais interdependente e frágil, o futuro enfrenta, ao mesmo tempo, grandes perigos e grandes promessas. Para seguir adiante, devemos reconhecer que no meio de uma magnífica diversidade de culturas e formas de vida, somos uma família humana e uma comunidade terrestre com um destino comum. Devemos somar forças para gerar uma sociedade sustentável global baseada no respeito pela natureza, nos direitos humanos universais, na justiça econômica e numa cultura da paz. Para chegar a este propósito, é imperativo que, nós, os povos da Terra, declaremos nossa responsabilidade uns para com os outros, com a grande comunidade da vida, e com as futuras gerações” (MMA).

3.6 A legislação ambiental federal

A seguir são relacionadas algumas leis e decretos ambientais, de âmbito federal e de interesse para o gerenciamento de processos de usinagem no que diz respeito às boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte.

Lei nº 6938/1981 - "Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências" - Data da legislação: 31/08/1981 - Publicação DOU, de 02/09/1981(BRASIL, 1981).

Decreto nº 99274/1990 - "Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências" - Data da legislação: 06/06/1990 - Publicação DOU, de 07/06/1990 (BRASIL, 1990).

Decreto nº 875/1993 – “Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito”. (BRASIL, 1993).

Lei nº 9605/1998 - Lei dos Crimes Ambientais - "Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências" - Data da legislação: 12/02/1998 - Publicação DOU, de 17/02/1998 (BRASIL, 1998).

Resolução CONAMA nº 003/1990 - "Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR" - Data da legislação: 28/06/1990 - Publicação DOU, de 22/08/1990 (BRASIL, 1990).

Resolução CONAMA nº 023/1996 - "Regulamenta a importação e uso de resíduos perigosos e dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos perigosos e seu Depósito". Data da legislação: 12/12/1996 - Publicação DOU nº 013, de 20/01/1997. Esta Resolução possui as seguintes correlações: foi alterada pela Resolução nº 235/98 (alterado o anexo 10) em cumprimento ao disposto no art. 8º da Resolução no 23/96, foi alterada pela Resolução Nº 244/98 (excluído item do anexo 10), foi complementada pela Resolução nº 228/97 e revogou a Resolução nº 37/94 (BRASIL, 1996).

Resolução CONAMA nº 237/1997 - "Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente e dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental, assim como, altera a Resolução no 1/86 (revoga os art. 3º e 7º)". Data da legislação: 22/12/1997 - Publicação DOU nº 247, de 22/12/1997 (BRASIL, 1997).

Resolução CONAMA nº 357/2005 - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências".- Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005 (BRASIL, 2005).

Resolução CONAMA nº 362/2005 - "Dispõe sobre o Rerrefino de Óleo Lubrificante e sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado".- Data da legislação: 23/06/2005 - Publicação DOU nº 121, de 27/06/2005 (BRASIL, 2005).

Resolução CONAMA nº 382/2006 - "Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas" - Data da legislação: 26/12/2006 - Publicação DOU nº 1, de 02/01/2007 (BRASIL, 2007).

Resolução CONAMA nº 397/2008 - "Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e

diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”.- Data da legislação: 03/04/2008 - Publicação DOU nº 66, de 07/04/2008 (BRASIL, 2008).

3.7 A legislação ambiental no Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo a Secretaria do Meio Ambiente organiza, coordena e integra as ações de órgãos e entidades da administração direta, indireta e fundacional instituídas pelo poder público, assegurada a participação da coletividade, para a execução da Política Estadual do Meio Ambiente visando a proteção, controle e desenvolvimento do meio ambiente e uso sustentável dos recursos naturais, sendo que, conta em sua estrutura administrativa com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (SÃO PAULO, SMA).

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) é a agência do Governo do Estado de São Paulo responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo, sendo que, tornou-se, ao longo de sua existência, uma das cinco instituições mundiais da Organização Mundial de Saúde (OMS) para questões de abastecimento de água e saneamento, além de órgão de referência e consultoria do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), para questões ligadas a resíduos perigosos na América Latina (CETESB).

A seguir são relacionados algumas leis e decretos ambientais, no âmbito do Estado de São Paulo, de interesse para o gerenciamento de processos de usinagem no que diz respeito às boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte.

Lei nº 997, de 31 de maio de 1976 – “Dispõe sobre a instituição do sistema de prevenção e controle da poluição do meio ambiente na forma prevista nessa lei e pela Lei nº 118/73 e pelo Decreto nº 5.993/75” (SÃO PAULO, 1976).

Sendo seus principais objetivos:

“- estabelecer diretrizes para operacionalidade do sistema e proteção, dispondo sobre conceitos básicos de sustentação do meio ambiente nos complexos problemas a serem enfrentados de ordem jurídica, técnica e da administração, entre os quais:

. dispondo sobre o conceito de poluição do meio ambiente, de fontes poluidoras;

- . estabelecer exigência para construção, ampliação e reforma para instalação e funcionamento de fontes poluidoras;
- . conferir penalidades por infrações à lei, estabelecendo critérios segundo o grau de gravidade;
- . determinar medidas de emergência a fim de evitar episódios críticos ou impedir sua continuidade em caso de grave risco iminente para vidas ou recursos humanos e econômicos”.

Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 - Regulamentação da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, com 172 artigos e anexos cujas disposições representaram um instrumento de trabalho com mecanismos ajustados para operação e controle do meio ambiente (SÃO PAULO, 1976).

Sendo seus principais objetivos resumidos nos títulos, que indicam os assuntos detalhados no anexo desse decreto:

- Proteção ao meio ambiente: define o sistema de prevenção e controle do meio ambiente; as competências da CETESB;
- Poluição das águas: classificação das águas; padrões de qualidade; padrões de emissão;
- Poluição do ar: normas para utilização e preservação do ar: regiões de controle de qualidade do ar e proibições e exigências gerais; padrões: padrões de qualidade, padrões de emissão e padrões de condicionamento e de projeto para fontes estacionárias; plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar;
- Poluição do solo;
- Licenças e registro: fontes de poluição; licenças de instalação; licenças de funcionamento; registro; preços para expedição de licenças;
- Fiscalização e sanções: infrações e penalidades; procedimentos administrativos; recolhimento das multas; recursos; disposições finais.

Decreto nº 47.397, de 4 de dezembro de 2002. Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente (SÃO PAULO, 2002).

Decreto nº 47.400, de 4 de dezembro de 2002 - Regulamenta dispositivos da Lei Estadual nº 9.509, de 20 de março de 1997, referentes ao licenciamento ambiental, estabelece prazos de validade para cada modalidade de licenciamento ambiental e condições para sua renovação, estabelece prazo de análise dos requerimentos e licenciamento ambiental, institui procedimento obrigatório de notificação de suspensão ou encerramento de atividade, e o recolhimento de valor referente ao preço de análise (SÃO PAULO, 2002).

3.8 A legislação ambiental no Município de Bauru

O Município de Bauru, cidade onde se encontra a Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB) da Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho" *Campi* de Bauru, possui um Código Ambiental disposto na Lei Municipal nº 4.362 de 12 de janeiro de 1999 P.32.958/1996, que Disciplina o Código Ambiental do Município e dá outras providências, sendo que, o Decreto nº 8636 de 2 de dezembro de 1999 P. 28813/99 regulamenta a Lei nº 4362, de 12 de janeiro de 1999 e o anexo I, que dispõe sobre o Código Ambiental do Município de Bauru (BAURU, 1.999).

Do Código Ambiental de Bauru em seu Livro II, Parte Especial, Título I do Controle Ambiental foram extraídos alguns artigos de interesse para o gerenciamento de processos de usinagem no que diz respeito às boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte.

Em seu artigo 68, incisos I, II e III constam que:

Art. 68 - O lançamento no meio ambiente de qualquer forma de matéria, energia, substâncias, em qualquer estado físico, prejudiciais ao ar, ao solo, ao subsolo, às águas, à fauna e a flora deverá obedecer às normas estabelecidas visando reduzir, previamente:

I - os efeitos impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;

II - os efeitos inconvenientes, inoportunos ou incômodos ao bem-estar público;

III - os efeitos danosos aos materiais, prejudiciais ao uso e a segurança da propriedade bem como ao funcionamento normal das atividades da coletividade.

Em seu artigo 73, incisos IV e V do capítulo II do Ar consta que ficam vedadas:

III - a emissão visível de poeiras, névoas e gases, excetuando o vapor d'água;

IV - a emissão de odores que possam criar incômodos a população;

V - a emissão de poluentes.

Nos artigos 83; 84; 85; 86; 87 no capítulo III da Água constam que:

Art. 83 - A Política Municipal do Controle de Poluição das águas será executada pela SEMMA em conjunto com o DAE tem por objetivo:

I - proteger a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida da população;

II - proteger e recuperar os ecossistemas aquáticos, com especial atenção para as áreas de nascentes, os mananciais, várzeas e outras relevantes para a manutenção dos ciclos biológicos;

III - reduzir, progressivamente, a toxidade e as quantidades dos poluentes lançados nos corpos d'água;

IV - compatibilizar e controlar os usos efetivos e potenciais da água, tanto qualitativa quanto quantitativamente;

V - o adequado tratamento dos efluentes líquidos, visando conservar a qualidade dos recursos hídricos.

Art. 84 - As diretrizes deste Código aplicam-se a lançamentos de quaisquer efluentes líquidos provenientes de atividades efetiva e potencialmente poluidoras instaladas no Município de Bauru, em águas interiores, superficiais ou subterrâneas, diretamente ou através de quaisquer meios de lançamentos, incluindo redes de coleta e emissários.

Art. 85 - Os critérios e padrões estabelecidos em legislação deverão ser atendidos, também, por etapas ou áreas específicas do processo de produção ou geração de efluentes, de forma a impedir a sua diluição e assegurar a redução das cargas poluidoras totais.

Art. 86 - Os lançamentos de efluentes líquidos não poderão conferir aos corpos receptores características em desacordo com os critérios e padrões de qualidade de água em vigor, ou que criem obstáculos ao trânsito de espécies migratórias.

Art. 87 - As atividades efetivas ou potencialmente poluidoras e de captação, implementarão programas de monitoramento de efluentes e da qualidade ambiental em suas áreas de influência, previamente estabelecidos ou aprovados pela SEMMA e pelo DAE, integrando tais programas numa rede de informações.

§1º A coleta e análise dos efluentes líquidos deverão ser baseadas em metodologias aprovadas pelos órgãos competentes.

§2º Todas as avaliações relacionadas aos lançamentos de efluentes líquidos deverão ser feitas para as condições de dispersão mais desfavoráveis, sempre incluída a previsão de margens de segurança.

§3º Os técnicos da SEMMA e do DAE terão acesso a todas as fases de monitoramento que se refere o "caput" deste artigo, incluindo procedimentos laboratoriais.

Nos artigos 90 e 91 no capítulo IV do Solo consta que:

Art. 90 - A disposição de quaisquer resíduos no solo, sejam líquidos, gasosos ou sólidos, só será permitida mediante comprovação de sua degradabilidade e da capacidade do solo de autodepurar-se levando-se em conta os seguintes aspectos:

I - capacidade de percolação;

II - garantia de não contaminação dos aquíferos subterrâneos;

III - limitação e controle da área afetada;

IV - reversibilidade dos efeitos negativos.

Art. 91 - Fica vedado no Município de Bauru a técnica de deposição final de resíduos através de infiltração química no solo.

Em seus artigos 105 e 106, os incisos I, V, VI, VIII, do capítulo VII do Controle das Atividades Perigosas consta que:

Art. 105 - É dever do Poder Público controlar e fiscalizar a produção, a

estocagem, o transporte, a comercialização e a utilização de substâncias ou produtos perigosos, bem como as técnicas, os métodos e as instalações que comportem risco efetivo ou potencial para a sadia qualidade de vida e do meio ambiente.

Art. 106 - São vedados ao Município de Bauru, entre outros que proibir este Código:

I - o lançamento de esgoto "in natura", em corpos d'água;

V - a utilização de metais pesados em quaisquer processos de extração, produção e beneficiamento que resultem na contaminação do meio ambiente natural;

VI - a produção, o transporte, a comercialização e o uso de medicamentos, agrotóxicos, produtos químicos ou biológicos cujo emprego seja proibido no território nacional e/ou por outros países, por razões toxicológicas, farmacológicas ou de degradação ambiental;

VIII- a disposição de resíduos perigosos sem os tratamentos adequados à sua especificidade.

As atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental no Município de Bauru encontram-se relacionadas anexo 1 do Código Ambiental do Município de Bauru conforme citação a seguir:

As atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental do Município de Bauru/SP:

Oficinas Mecânicas - Serviços de funilaria e pintura - "lava-car" - depósitos em geral (material de construção, insumos agrícolas, distribuição de gás, etc.)- Criadouro de animais domésticos e "pets shops" - Marmoraria - Vidraçaria - Serralheria - Estofadores - Reparos de móveis - Serviço de pintura de faixas e placas - Recauchutagem de pneus - Borracharia - Oficinas em geral - Concretera - Restaurantes e lanchonetes - Padarias - Açougues - Cozinhas Industriais - Casas Noturnas - Postos de Gasolina - Serviço de recuperação de sucatas - Serviço de recuperação de sucatas - Serviço de corte de chapas - Serviço de jateamento - Hotéis e motéis - Laboratórios Fotográficos - Confecções de roupa.

3.9 Obrigações e sanções legais no manuseio de resíduos perigosos

A preocupação com a questão ambiental, a partir da década de 70, criou uma série de exigências às atividades potencialmente poluidoras, sendo que, as indústrias representam o ramo de atividade mais reconhecido como poluente, o que explica o fato de as exigências de controle ambiental terem atingido as indústrias em primeiro lugar e serem as indústrias o alvo principal das novas normas que vêm sendo criadas e que tem que ser obedecidas por todas as atividades que possam causar algum impacto ambiental ou afetar a saúde da população, independente do tamanho ou do porte da indústria (FIESP/CIESP, 2004).

Para tratar a questão dos resíduos industriais, o Brasil possui legislação e normas específicas, tais como na Constituição Brasileira, o Artigo 225 dispõe sobre a proteção ao meio ambiente (BRASIL. Constituição 1988); a Lei nº 6.938/81, que estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981); a Lei nº 6.803/80,

que dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial em áreas críticas de poluição (BRASIL, 1980); Resolução CONAMA nº 362 de 23 de junho de 2005, que estabelece diretrizes para o recolhimento e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado (BRASIL, 2005), entre outras, sendo que, além disso, a questão é amplamente tratada nos Capítulos 19, 20 e 21 da Agenda 21

A Constituição Federal de 1988, em seu Art. 225, parágrafo 3º, estabelece que:

“As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”.

A Lei nº 9.605 de 1998, Lei de Crimes Ambientais, estabelece sanções para quem praticar condutas e atividades lesivas ao meio ambiente,

Art. 54. “Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a

§ 2º Se o crime:... destruição significativa da flora:...”.

- “V - ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos: Pena - reclusão, de um a cinco anos”.

Isso quer dizer que a gestão inadequada de resíduos pode levar seus responsáveis ao pagamento de multas e a sanções penais (prisão, por exemplo) e administrativas. Além disso, os danos causados ao meio ambiente, como a poluição de corpos hídricos, contaminação de lençol freático e danos à saúde, devem ser reparados pelos responsáveis pelos resíduos. A reparação do dano, na maioria dos casos, é mais complicada tecnicamente e envolve mais recursos financeiros do que a prevenção, isto é, do que os investimentos técnico-financeiros na gestão adequada de resíduos (FIRJAN, 2006).

Assim, de acordo com o guia prático elaborado pela Federação das Indústrias do Rio de Janeiro, no Brasil, a gestão inadequada de resíduos é crime ambiental e pode desvalorizar o negócio, ou até mesmo, inviabilizá-lo, e considerando que, por um lado, a legislação ficou mais restritiva, os órgãos ambientais mais exigentes e a sociedade mais consciente; por outro lado, o empresário vem percebendo a importância dessas questões e passou a buscar soluções adequadas que, em muitos casos, podem resultar em benefícios econômicos concretos para o negócio.

No caso da gestão de resíduos sólidos, as boas práticas revelam-se rentáveis para o empresário, sendo que, as técnicas de redução na fonte, substituição de matéria-prima, reutilização e reciclagem podem trazer reais benefícios econômicos, além de evitar a exposição do negócio aos riscos dos passivos ambientais, isto é, a desvalorização ou perda total da atividade (FIRJAN, 2006).

De acordo com o Art. 11. RESOLUÇÃO CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996 publicada no DOU nº 13, de 20 de janeiro de 1997, o não cumprimento ao disposto nesta Resolução sujeitará os infratores às penalidades previstas nos artigos 14 e 15 da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pelas Leis nº 7.804, de 18 de julho de 1989 e nº 8.028, de 12 de abril de 1990, sendo que, consta no anexo 1-A, desta Resolução, uma relação de resíduos perigosos – classe I, no qual pode ser identificado nos itens Y8 e Y9 referente a resíduos oriundos de óleos minerais não aproveitáveis para o uso a que estavam destinados e misturas ou emulsões residuais de óleos/água, hidrocarbonetos/água, respectivamente (BRASIL, 1997)

Nesta mesma Resolução pode ser encontrado no anexo 1-B, na relação de resíduos perigosos classe I de fontes não específicas, correspondente ao anexo A da NBR-10.004/87, conforme demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 – Identificação do óleo de corte como resíduo perigoso (Resolução CONAMA, nº 23, de 12 de dezembro de 1996. ANEXO 1 – B RESÍDUOS PERIGOSOS - CLASSE I DE FONTES NÃO ESPECÍFICAS (Anexo A da NBR-10.004/87, adaptada)

Indústria	Código do Resíduo Perigoso	Resíduo Perigoso	Código de Periculosidade
Genérica	F30	Óleo usado incluindo - - os de uso lubrificante (motores, engrenagens, turbinas), - com fluido hidráulico (incluindo aquele usado em transmissão), - no trabalho com metais (incluindo para corte, polimento, usinagem, estampagem, resfriamento e cobertura) e - óleo usado em isolamento ou na refrigeração em que seja contaminado.	(T)

Legenda: (T) Tóxico, (I) Inflamável, (R) Reativo, (E) altamente tóxico

4. ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE

Neste capítulo são estudados os aspectos e impactos ambientais na utilização dos fluidos de corte, apresentando os seus principais aspectos geradores de efeitos adversos e os impactos ambientais conseqüentes do processo de utilização de fluídos de corte, assim como, algumas possíveis medidas de prevenção à poluição.

4.1 Aspectos e impactos ambientais na utilização dos fluidos de corte

Segundo Tocchetto e Coutinho (2004), o aspecto ambiental é a causa da ocorrência de possíveis modificações no meio ambiente, enquanto que, impacto ambiental é qualquer modificação do mesmo, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização, isto é, é a conseqüência, é o efeito, das ações implementadas.

De acordo com Sokovic e Mijanovic (2001), o processo de fabricar um produto, pela adição de materiais e energia às matérias-primas, inevitavelmente, gera conflito a respeito das emissões e resíduos resultantes, sendo que, na busca de soluções e alternativas para aperfeiçoar os processos mecânicos é essencial que as tentativas convencionais, que visam alcançar uma eficiência máxima em associação com condições de fabricação econômica, sejam substituídas por novos métodos, os quais permitam alcançar o menor impacto ambiental em conjunto com tecnologias apropriadas e condições econômicas aceitáveis.

Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), até o início dos anos noventa os impactos ambientais das práticas industriais não eram considerados um fator significativo para a tomada de decisões técnicas em processos de fabricação, entretanto este modo de agir mudou devido à opinião pública e severa regulamentação governamental. Além disso, as companhias identificaram relação de custo benefício advindo das práticas ambientalmente sadias, isto é, das boas práticas ambientais, tais como reciclagem e reutilização de materiais.

De acordo com Teixeira (2007), devido aos aspectos toxicológicos, às condições de manuseio e uso, os fluidos de corte possuem elevado potencial de impacto ambiental, tais como: vazamentos durante armazenagem e transporte,

contaminação atmosférica etc. e, além disso, representa uma ameaça à saúde do trabalhador, uma vez que pode causar males tais como: doenças pulmonares e irritações na pele, sendo que, leis ambientais cada vez mais rígidas, tais como a Lei nº 9.605 de 1998, Lei de Crimes Ambientais, exigem providências no sentido de reduzir o impacto ambiental dos processos produtivos e apontam o potencial de vantagens, a curto e longo prazo, que podem ser atingidos com a redução do uso dos fluidos de corte.

A figura 5 mostra que trabalhadores, materiais, água, energia e conhecimento representam as entradas nos processos de fabricação, cujas saídas resultantes são os produtos, serviços e resíduos diversos, sendo que, segundo Sokovic e Mijanovic (2001), em muitos casos os processos de fabricação não são adequadamente limpos e produzem substâncias que poluem o ar, a água e o solo, devido à negligência tecnológica, problemas não solucionados dos processos de fabricação e do comportamento humano.

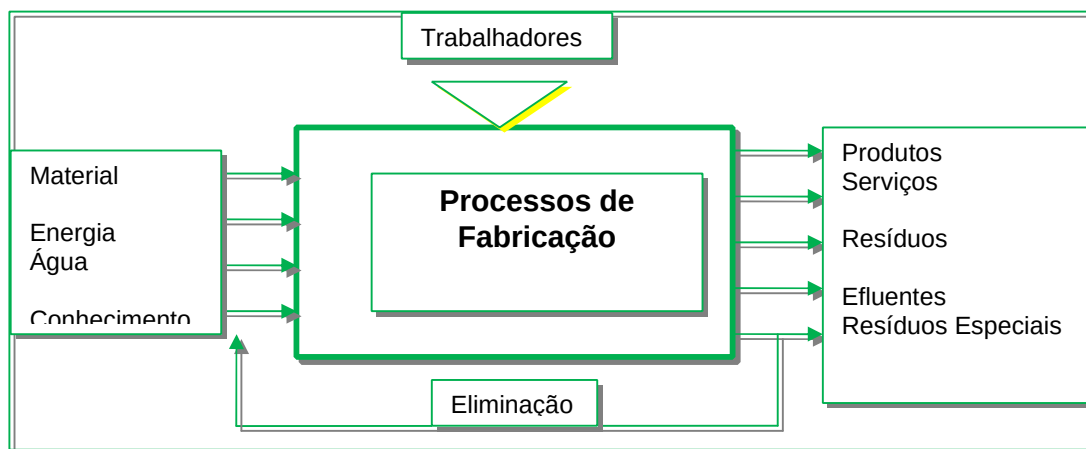


Figura 6 - Processos de fabricação poluindo o meio ambiente (SOKOVIC E MIJANOVIC, 2001).

Já a figura 6 representa, o processo de retificação focando especificamente a entrada de materiais necessários para a fabricação do produto final desejado na saída deste processo (INET, 2000).

Ocorre que, de acordo com Sokovic e Mijanovic (2001), se por um lado se obtém o resultado do trabalho representado pelo design do produto com todas as suas características requeridas, tais como, qualidade, eficiência econômica e desejável reciclabilidade, por outro lado, emissões e materiais residuais indesejáveis

também são produzidos, sendo que, suas características em termos de tipo, quantidade e condições são influenciadas pelo processo.

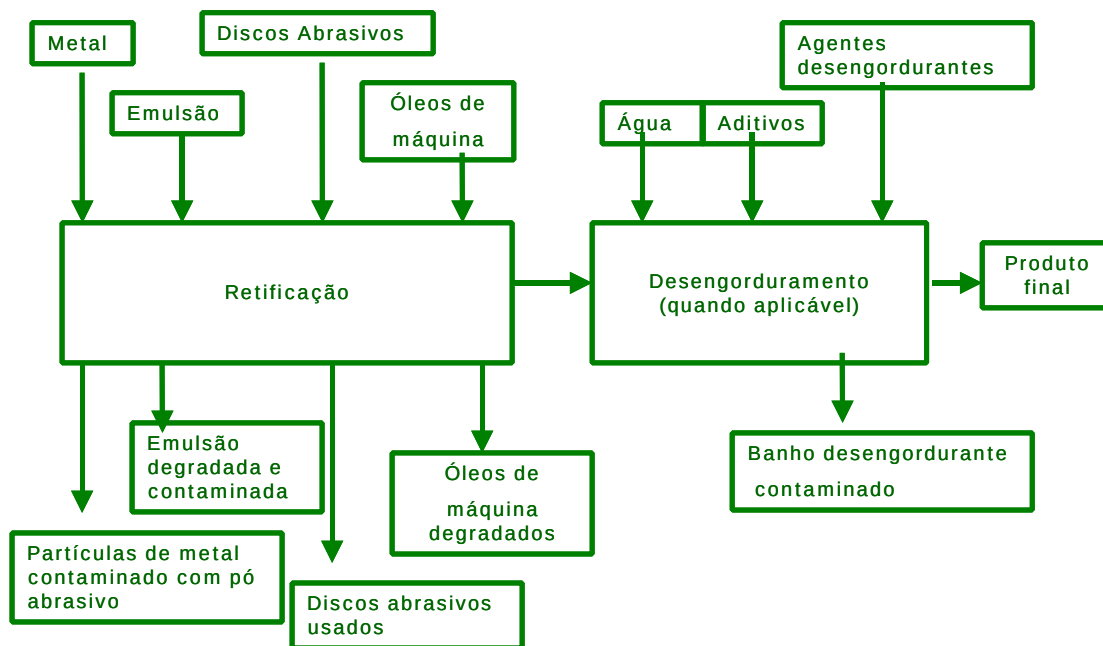


Figura 7 - Diagrama de caracterização das entradas e saídas dos processos de retificação (INET, 2000; adaptada).

Na figura 6 um destaque especial para a saída da emulsão de fluido de corte na condição de emulsão degradada e contaminada, o que ocorre, segundo Sokovic e Mijanovic (2001), por que os fluidos de corte mudam suas características originais durante sua utilização no processo de usinagem e ao longo da vida útil devido ao desenvolvimento de substâncias e reações secundárias, corpos estranhos (sujeira) e microorganismos, o que, de acordo com Silva (2002) requer controle rigoroso dos fatores que afetam a estabilidade dos fluidos de corte.

Segundo Ignácio (1998), um tratamento inadequado dos fluidos de corte durante o seu período de vida, além de prejudicar o desempenho de suas propriedades, pode agravar o processo de emissões e resultar em perdas mediante a formação de gases; espumas; névoas; neblina e precipitados; oxidação dos fluidos; lançamento de fluidos para fora do sistema de circulação, conforme representado na figura 7.

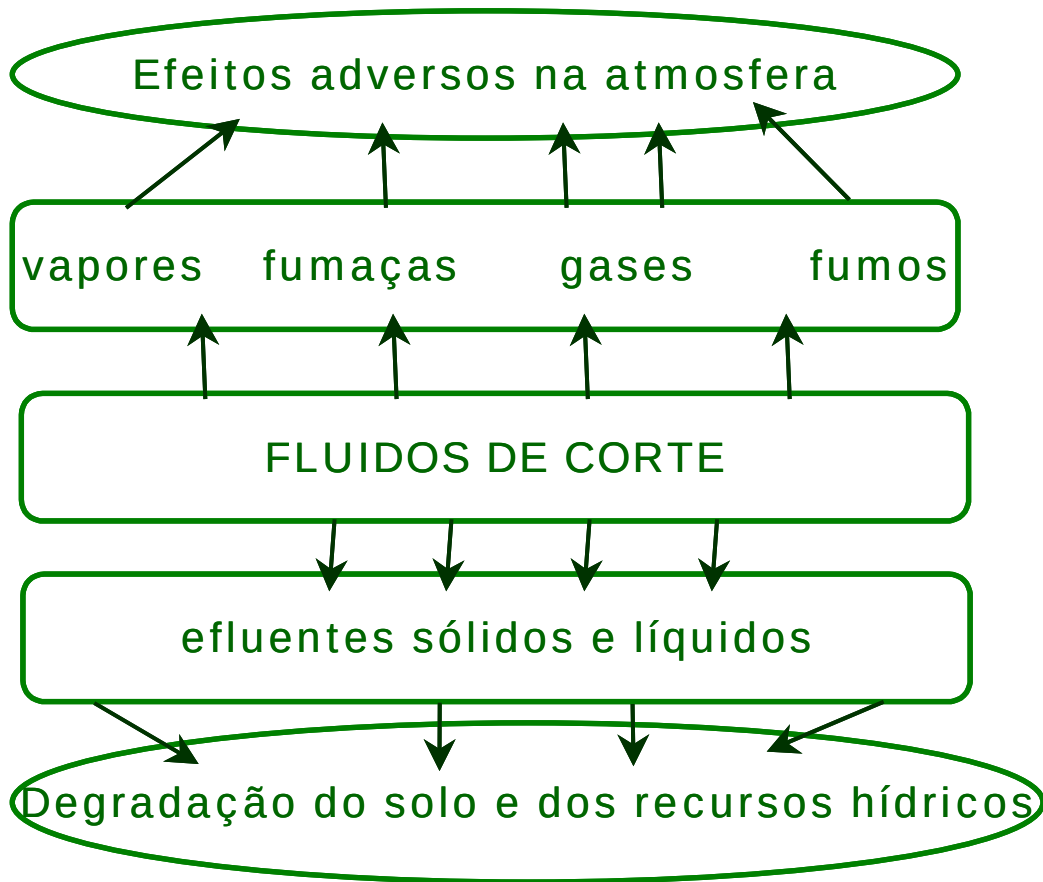


Figura 8 – Efeitos adversos dos fluidos de corte sobre o meio ambiente (IGNÁCIO, 1998).

A figura 7 representa as interações dos fluidos de corte com o meio ambiente e as possibilidades de causar poluição do ar, água e solo, o que requer e justifica implementação de boas práticas ambientais na utilização deste insumo na indústria metal-mecânica.

Sobre emissões e perdas, Bell et al. (1999) desenvolveram um modelo quantitativo que permite um entendimento do mecanismo básico pelo qual os fluidos de corte escapam da área de corte, potencializando os riscos de contaminação tanto ambiental quanto para a saúde ocupacional no ambiente da oficina, e que, pode ser utilizado para estimar a quantidade de fluido sobre o chão da oficina ou para planejar os parâmetros do processo visando a minimização da quantidade de fluido que escapa da zona de corte.

4.1.1 Aspectos toxicológicos

O potencial genotóxico e os riscos de tumores associados com a exposição aos fluidos de corte encontram-se sob debate, sendo que, tanto o aumento quanto o decréscimo de incidências de tumores em pessoas que trabalham com fluidos de corte são reportadas e acompanhadas com interesse pela indústria metal mecânica (HVBG, 1996; SCHROEDER et al., 1997 apud KLEBER, FÖLLMANN, BLASZKEWICZ, 2004).

Segundo Bartz (2001), na composição dos fluidos de corte foram identificados os seguintes grupos de substâncias causadoras de efeitos adversos: Nitrosaminas (N-Nitrodietanolaminas), formaldeídos, substâncias orgânicas contendo parafinas cloradas e bifenis policlorados, substâncias orgânicas contendo fósforo, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (benzo(a)pireno), substâncias contendo boro, chumbo, zinco-ditiofosfatos etc., os quais foram categorizados como substâncias problemáticas para a saúde e o meio ambiente, sendo então removidas e /ou substituídas ao longo do tempo.

Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), dentre as substâncias perigosas, as nitrosaminas estão entre as mais tóxicas e foram identificadas como cancerígenas. As nitrosaminas são formadas nos fluidos de corte pela reação entre o nitrito de sódio, um inibidor de corrosão e as etanolaminas, sendo que, a névoa formada durante a operação de retificação representa sérios riscos à saúde devido à exposição dermatológica e respiratória. Ressalta-se que, nos EUA, o nitrito de sódio teve seu uso industrial proibido.

Conforme Howes, Tönshoff e Heuer (1991), outras substâncias perigosas encontradas em fluidos de corte ou produzidas durante a operação de retificação, incluem os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e os hidrocarbonetos clorados.

De acordo com Bartz (2001), os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos podem ser trazidos para dentro dos fluidos de corte por meio dos óleos básicos, sendo que, o benzo(a)pireno está definitivamente classificado como gerador de câncer em animais de laboratório. Também segundo Bingham et al (1980 apud NASH et al., 1996), o potencial carcinogênico dos hidrocarbonetos minerais é creditado à presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos contaminantes, tais como o benzo(a)pireno.

Segundo Bartz (2001), também o formaldeído é uma substância suspeita pelo seu potencial cancerígeno e pode estar presente nos fluidos de corte como biocidas. Já os compostos orgânicos contendo fósforo, tais como o tricresilfosfato, utilizados como agentes antidesgaste e extrema pressão, por razões toxicológicas, recomenda-se verificar se o referido composto é livre de O-cresol.

Segundo Goh and Gan, 1994; Zissu, 2002, apud Baynes et al. (2005), solventes clorados e desengraxantes, tais como tricloroetileno (TCE) são freqüentemente utilizados em operações de usinagem para remover os resíduos de fluidos de corte da superfície do metal, sendo que há registros de dermatites ocupacionais que podem estar associadas às interações solvente-óleo na pele dos trabalhadores e, de acordo com Phoon et al., 1984; Zhu et al., 2005, apud Baynes et al., 2005, além do já conhecido efeito cancerígeno, o tricloroetileno causa reações de irritação da pele, necroses epidérmicas e, mais recentemente, citotoxicidade associada ao estresse oxidativo.

Ainda segundo Baynes et al. (2005), a substância Triazina (1,3,5-trietil hexahidro-S-triazine) que é freqüentemente adicionada às formulações de fluidos de corte como biocida/preservativo, não somente causa dermatites ocupacionais, como também, segundo Baynes et al. (2003) é mais rapidamente absorvida através da pele do que muitos outros aditivos. Sendo que, conforme demonstrado por Baynes et al. (2005), a repetida exposição dérmica a solventes tais como o tricloroetileno pode ter um significativo efeito na permeação de substâncias tais como a triazina.

De acordo com Fuchs and Kern, 1998; Boh, 1996; Nachbar and Korting, 1995; Applegate et al., 1994; Picardo et al., 1992 Cetinkale et al., 1999; Freitas et al., 1998; Rezazadeh and Athar, 1997; Passi et al., 1998 apud Shvedova et al. (2002), relatórios publicados indicam fortemente que o estresse oxidativo representa um importante papel na causa das dermatites, queimaduras, psoríases e carcinogênese.

Ocorre que a complexa natureza dos fluidos de corte prontamente produz oxigênio reativo na pele resultando em danos para a integridade das proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos da pele, sendo que este resulta em recrutamento de macrófagos e neutrófilos, os quais intensificam os danos e, indicando que a pele é muito sensível ao estresse oxidativo (FUCHS et al., 1989; DARR AND FIDOVICH, 1994; SHINDO et al., 1993 apud SHVEDOVA et al., 2002).

Assim sendo, de acordo com Bartz (2001), os produtos toxicológica e ecologicamente questionáveis deverão ser excluídos de utilização, sendo que, além dos requerimentos técnicos, os aspectos de toxicologia e medicina do trabalho exercerão continuamente uma importante influência sobre o desenvolvimento e formulação dos fluidos de corte e os altos custos de descarte direcionarão maior ênfase para a manutenção do fluido e o uso de produtos com vida útil mais longa e consistente desempenho.

4.1.2 Resíduos Perigosos

Resíduos perigosos podem ser definidos como aqueles que exibem algumas das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou toxicidade (U.S. EPA, 1986 apud HOWES, TÖNSHOFF E HEUER, 1991).

Países tais como a Austrália, os Estados Unidos, a Alemanha e o Japão possuem leis que identificam as substâncias perigosas e um conjunto de normas e procedimentos para seu uso e descarte (WESTERN AUSTRÁLIA WATER AUTHORITY, 1990; U.S. EPA, 1987B et al. apud HOWES, TÖNSHOFF E HEUER, 1991), assim como, normas e procedimentos padrão, foram desenvolvidos na Comunidade Européia e em outros países, visando à proteção de trabalhadores contra as substâncias perigosas no local de trabalho (EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT 1980, 1988; LEITER AND FASTENAU 1990 apud HOWES, TÖNSHOFF E HEUER, 1991).

É reconhecido que os fluidos de usinagem quando inapropriadamente manuseados e descartados representam sérios perigos e riscos, uma vez que, representam significativo impacto sobre o ar, o solo e água. (BRINKSMEIER, 1993 apud HANDBOOK OF MACHINING WITH GRINDING WHEELS, 2007).

Segundo Howes et al. (1991), há registros históricos que evidenciam incidentes envolvendo substâncias perigosas e, por isso, leis e regulamentações têm sido publicadas globalmente visando controlar os tipos e níveis de substâncias perigosas lançadas no meio ambiente. Países como a Austrália e Estados Unidos têm uma legislação que responsabiliza os fabricantes de materiais perigosos, desde a produção do insumo até a sua disposição final, conhecida por responsabilidade do “berço à cova”, conforme fluxo demonstrado na figura 08 (GEHRING 1982, WESTERN AUSTRALIA WATER AUTHORITY, 1990 APUD HOWES ET AL., 1991). Além disso, em países como o Japão e a Alemanha incentivos são concedidos às

companhias para implementação de reciclagem e programas de minimização de resíduos (U.S. EPA, 1987a apud HOWES et al., 1991).

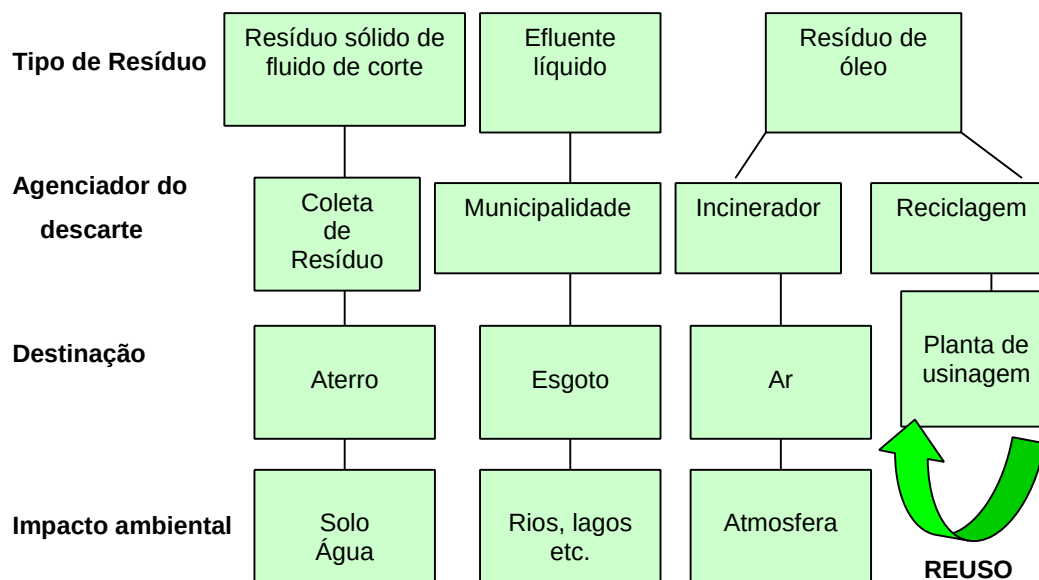


Figura 9 - “Responsabilidade do berço à cova”. Fabricantes conservam a responsabilidade pelo resíduo desde a geração até o descarte (HOWES, 1991; adaptada).

A figura 8 representa esquematicamente o fluxo de acompanhamento do resíduo desde a sua geração até a destinação final, o qual deve ser realizado por transportadores licenciados que assegurem que nenhum desastre ambiental ocorra ao longo do percurso (HOWES, TÖNSHOFF E HEUER, 1991).

Dentre os resíduos perigosos, segundo Runge e Duarte (1990), são amplamente conhecidos os aspectos negativos dos óleos e solventes clorados, que além de incluírem sérios riscos à saúde, por decomposição e formação de vapores clorídricos, também têm fácil penetração no solo, onde se conservam e podem se acumular por longos períodos, além de atingirem facilmente os lençóis freáticos contaminando-os.

4.1.3 Emissões atmosféricas

De acordo com Dunlap (1997 apud FILHO, 2006), um estudo conduzido pela Universidade de Harvard, para *General Motors* e *United Auto Workers*, concluiu que existem efeitos adversos sobre a saúde dos operários os quais foram atribuídos ao longo tempo de exposição aos fluidos de corte integrais, solúveis e sintéticos.

Segundo Bell (1999), os fluidos de corte, freqüentemente, produzem névoas, fumaças, gases, salpicos e outras partículas que são incompatíveis com o meio ambiente fabril e representam riscos à saúde ocupacional, sendo que, segundo Hallock et al. (1994); Greaves (1997 apud BELL, 1999), em estudos realizados na indústria automobilística, os trabalhadores expostos aos aerossóis de óleos integrais, óleos emulsificáveis e fluidos de corte sintéticos foram $<1,0 \text{ mg/m}^3$.

De acordo com U.S. Department of Health and Human Services, Occupational Exposure to Metalworking Fluids (1998 apud BELL, 1999), os requerimentos estabelecidos na NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) para a concentração de emissões de fluidos corte no meio ambiente industrial é de $0,5 \text{ mg/m}^3$, para o nível de exposição permissível por pessoa.

Entretanto, segundo Bell (1999), a quantidade de fluido que escapa da zona de corte para o ambiente fabril depende fortemente das propriedades do fluido e dos parâmetros operacionais de usinagem, sendo essencial entender o mecanismo de fuga das emissões, assim como, a determinação da quantidade emitida.



Figura 10 Emissões de resíduos de fluidos de corte (ALVES, 2006).

A figura 9 representa as possíveis interações entre o ambiente de utilização dos fluidos de corte, o trabalhador e o impacto sobre o meio ambiente, sendo que, o

contato prolongado do operador se dá por meio dos respingos e salpicos, inalação de vapores, névoas e fumaça e tem demonstrado causar problemas tais como: dermatite, inflamações cutâneas, hiper-pigmentação, alergias, doenças respiratórias, irritações nas mucosas do nariz, garganta e olhos, sendo que, alguns aditivos usados na formulação dos fluidos de corte são suspeitos de serem cancerígenos (EL BARADIE, 1996; BYRNE, 1996; ROSSMORE, 1995 apud FILHO, 2006).

Além de tudo isso, de acordo como Marano (1997 apud FILHO, 2006), as emissões atmosféricas podem causar danos ambientais que extrapolam os limites da fábrica, uma vez que as fugas de parte da névoa e dos vapores gerados no ambiente de trabalho podem provocar a contaminação do ar de regiões vizinhas e, até mesmo, ser carregados pelas águas das chuvas até o solo.

4.2 Principais impactos ambientais na utilização de fluidos de corte

Segundo Tan et al (2002), durante o processo de usinagem, o fluido de corte é uma das principais causas de poluição ambiental, uma vez que provocam impactos ambientais tais como emissão de gases tóxicos, resíduos sólidos e efluentes líquidos oleosos perigosos, os quais podem poluir os recursos hídricos, o solo e o ar.

De acordo com Howes et al. (1991), os impactos ambientais causados pelos fluidos de corte podem ser observados em dois ambientes, sendo eles: ambiente externo à fábrica, isto é, impacto sobre a ecologia, e no ambiente interno, isto é, na fábrica.

Também Oliveira e Alves (2007), sugerem que ao se avaliar os impactos gerados pela utilização dos fluidos de corte, deve-se considerar dois principais efeitos, quais sejam: os efeitos nocivos à atmosfera, tanto interna quanto externa, e a degradação do solo e recursos hídricos; além disso, de acordo com Kleber, Föllmann, Blaszkewicz (2004), doenças de pele e pulmonares podem ocorrer entre os trabalhadores expostos aos fluidos de corte.

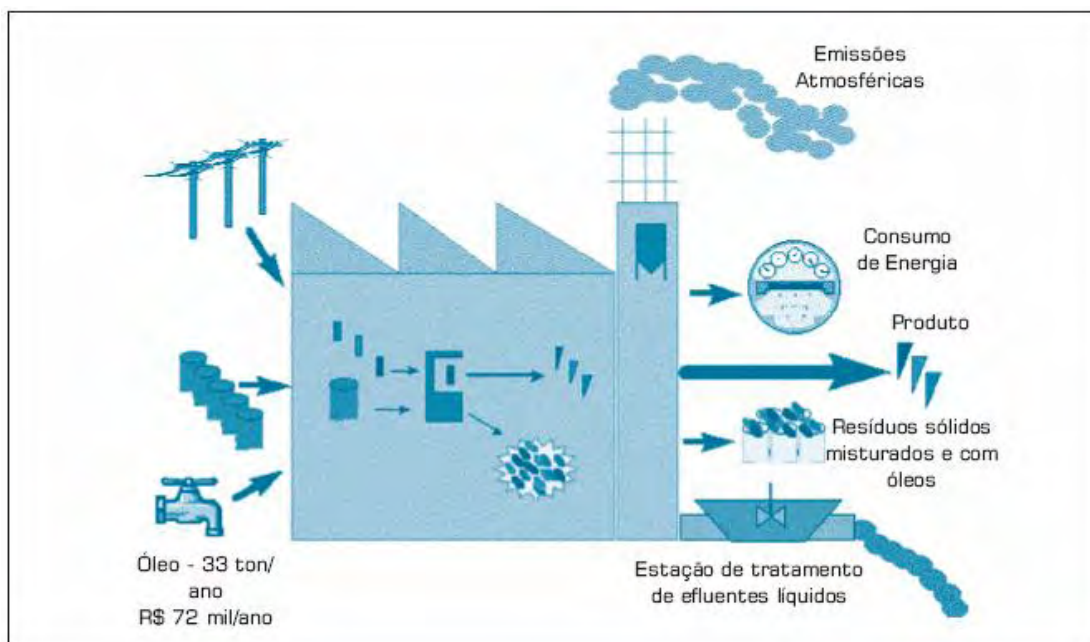


Figura 11 Geração e emissão de resíduos em uma indústria metal-mecânica (OLIVEIRA E ALVES, 2007).

A figura 11 representa a geração e emissão de resíduos em uma típica indústria metal-mecânica, tais como emissões atmosféricas, resíduos sólidos impregnados de óleo de corte e efluentes líquidos, decorrentes do processamento de matérias-primas, consumo de energia e de mão-de-obra.

Segundo Oliveira e Alves (2006), a elaboração de um balanço ambiental, econômico e tecnológico do processo produtivo, no qual sejam registrados, todas as entradas e saídas de energia, materiais, assim como, dos resíduos gerados; possibilita o estabelecimento de controle sobre os parâmetros de cada operação e a escolha da estratégia mais adequada para a redução de resíduos e seus impactos ambientais.

4.2.1 Efeitos adversos à saúde e à segurança do trabalhador

Segundo Fusse (2005), os fluidos de corte usados em ambientes de fabricação podem trazer efeitos adversos à saúde dos operadores de máquinas, sendo que, segundo Ignácio (1998), dos materiais utilizados em processos de usinagem, os óleos solúveis concentrados demonstram ser menos nocivos do que os óleos puros, entretanto, ambos oferecem riscos à saúde do trabalhador especialmente quando reagem com os mais variados materiais usinados.

Segundo Tan et al (2002), durante o processo de usinagem a aplicação do fluido de corte produz três principais tipos de danos: o primeiro é que a toxicidade dos aditivos causa danos à saúde das pessoas; a segunda é que a ação de degradação do óleo mineral e dos biocidas causa danos à pele e a terceira é aquela em que as misturas de óleo mineral e alcalescência causam danos ao aparelho respiratório.

Os danos mais comumente relatados são problemas dermatológicos (BENNETT, 1983; GADIAN, 1983 apud HOWES, TÖNSHOFF e HEUER, 1991), mas efeitos respiratórios e pulmonares também são detectados, devido à exposição prolongada aos fluidos de corte (BADEN, 1990 apud HOWES, TÖNSHOFF e HEUER, 1991).

Trabalhadores expostos aos aerossóis dos fluidos de corte apresentaram mais sintomas respiratórios, tais como: tosse, muco e rijeza torácica do que aqueles submetidos a uma condição controlada (JARVHOLM et al., 1982; ROBERTSON et al, 1988; KENNEDY et al., 1989; SPRINGE et al., 1997 apud LINNAINMAA et al., 2003).

A exposição aos aerossóis dos fluidos de corte tem sido associada com o aumento de ocorrências de asma, hipersensibilidade e diminuição da função pulmonar (HENDY et al., 1985; ROBINS et al., 1997; HODGSON, 2001 apud LINNAINMAA et al., 2003), assim como, vários estudos epidemiológicos demonstraram estatisticamente significativo aumento em casos de câncer de esôfago, estômago, pâncreas, laringe, colo e reto devido à prolongada exposição às névoas dos fluidos de corte (GUNTER e SUTHERLAND, 1999).

Segundo Lonon et al. (1999 apud LINNAINMAA et al., 2003) bactérias gram-negativas são contaminantes mais comuns nos fluidos de corte, entretanto, pequeno número de bactérias gram-positivas e outros componentes microbiológicos desconhecidos também têm sido detectados nos fluidos de corte usados.

A bactéria gram-negativa contém endotoxinas em sua parede celular, sendo que as endotoxinas são liberadas das células bacterianas durante a atividade de crescimento ou quando a célula se decompõe, sendo que grande quantidade de endotoxinas pode causar efeitos adversos agudos e crônicos à saúde humana tais como: febre e distúrbios respiratórios (DOUWES E HEEDERIK, 1997 apud LINNAINMAA et al., 2003).

Alguns distúrbios respiratórios, tais como: a síndrome da poeira orgânica tóxica, a asma ocupacional e a bronquite crônica; podem ser causadas ou induzidas pela exposição às endotoxinas (JACOBS, 1989 apud LINNAINMAA et al., 2003).

De acordo com Mirer (2003 apud Kleber, Föllmann, Blaszkewicz, 2004), recentes estudos epidemiológicos sugerem que a carcinogenicidade humana é ainda a principal preocupação associada aos trabalhadores usuários de fluidos de corte aquosos.

A Lei Federal nº 2.312/54, regulamentada pelo Decreto nº 49.974/61: dispõe sobre o dever do Estado quanto à defesa e proteção da saúde do indivíduo.

4.2.2 Efeitos adversos no transporte dos fluidos de corte

Os fluidos de uso industrial podem ser perigosos durante o transporte, pelo risco de acidente com prejuízo ao meio ambiente, sendo que, para reduzir os efeitos de acidentes ambientais e realizar este transporte com segurança, existe legislação que determina a capacitação da transportadora e do transportador (BIERMANN, 2006).

Esta atividade, no Brasil, está regulamentada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres do Ministério dos Transportes (ANTT), pela Resolução ANTT nº 420, de 12 de fevereiro de 2004, que aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos (BRASIL, 2004).

4.2.3 Efeitos adversos no descarte

De acordo com Chen et al. (2007), mesmo quando as opções de reciclagem são utilizadas, os fluidos de corte têm uma vida útil finita.

Segundo Kobya et al. (2007), o principal problema é que os fluidos de corte tornam-se contaminados com o uso, perdendo suas propriedades e efetividade, sendo necessário realizar reposição por fluidos novos e conseqüentemente descartar o resíduo gerado.

De acordo com Sokovic e Mijanovic, 2001; Greeley e Rajagopalan (2004 Apud Kobya et al., 2007), as quantidades de resíduo de fluido de corte geradas pelas operações de usinagem crescem a cada ano, constituindo um sério perigo para o meio ambiente devido ao seu alto teor de surfactantes e grande quantidade de poluentes orgânicos, sendo que esses fluidos requerem tratamento prévio que

atenda aos padrões de descarte para lançamento na rede de esgoto, os quais estão sujeitos às leis local e estadual.

Segundo a Revista Meio Ambiente Industrial (2001 apud Catai, 2004), a poluição gerada pelo descarte de uma tonelada por dia de óleo usado para o solo ou cursos de água, equivale ao esgoto doméstico de 40 mil habitantes e a queima indiscriminada do óleo usado, sem tratamento prévio de desmetalização gera emissões significativas de óxidos metálicos, além de outros gases tóxicos, como a dioxina e óxidos de enxofre.

Conforme Belkacem et al. (1995), o tratamento para descarte dos fluidos de corte emulsionáveis envolve uma operação para separar a fase oleosa da fase aquosa e então cada fase é tratada separadamente, sendo que, os métodos de tratamento podem ser por meio de processos térmicos, os quais requerem alto consumo de energia, químicos, baseados em uma desestabilização química da emulsão, ou físicos, por separação mecânica, com membranas de ultrafiltração.

Os resíduos sólidos, tais como os cavacos impregnados de óleo de corte oferecem riscos durante o transporte e a armazenagem, uma vez que, segundo Filho (2006), ocorrem armazenagem dos cavacos em depósitos a céu aberto, o que possibilita que a água proveniente das chuvas arraste para o solo e sistemas de água pluvial, fluvial e subterrâneo, diversos contaminantes e compostos constituintes dos fluidos de corte que são solúveis ou emulsionáveis em água, causando sérios danos ambientais.

4.2.4. Medidas de prevenção à poluição por fluidos de corte

De acordo com Oliveira e Alves (2007), a necessidade da indústria metal mecânica se adequar ambientalmente em virtude das legislações vigentes e da demanda por produtos e processos considerados “verdes”, tem feito com que muitas empresas revejam seus processos, assim como, tem motivado a busca por metodologias de gestão ambiental, objetivando adequar o processo de usinagem mediante a redução dos fluidos de corte.

Além disso, segundo Kobya et al. (2007), atualmente há, também, um considerável interesse em identificar novas tecnologias capazes de atender a padrões de tratamento mais rigorosos para os fluidos de corte ao, ainda, inevitável final de sua vida útil.

Conforme Bienkowski (1993) e Rios (2002), Runge e Duarte (1989), durante o processo de usinagem, medidas de prevenção à poluição por fluidos de corte podem ser adotadas mediante a implementação de um bom programa de manutenção, que englobe o acompanhamento, controle e adoção de procedimentos periódicos e ou diários de manutenção, tais como: a limpeza da máquina e das linhas de alimentação do fluido e dos reservatórios; evitar a utilização de madeiras e outros materiais orgânicos no sistema; realizar a esterilização do sistema mediante a utilização de biocidas e se for preciso, utilizar detergentes para a remoção de depósitos gordurosos; remover os cavacos, sistematicamente, a fim de evitar focos de microorganismos; manter a higiene do local de trabalho etc.

Também para Dandolini (2007), o ponto principal tanto para pequenas e médias empresas, quanto para grandes empresas do setor metal-mecânico é a existência ou não de um plano de controle operacional a fim de evitar impactos negativos ao ambiente, como limpeza das instalações, que é um fator importante para que não haja descarte prematuro do fluido de corte; manutenção preventiva de máquinas e equipamentos; medidas corretivas com relação aos poluentes que estão sendo gerados e a educação ambiental dos funcionários que precisam saber o porque que certos procedimentos devem ser modificados.

De um modo geral, as empresas já perceberam a importância de considerar os aspectos ecológicos na sua cadeia produtiva, sendo que, a empresa que não conseguir adequar seu sistema produtivo às exigências ambientais internacionais estará com seu mercado reduzido em um futuro bem próximo (TEIXEIRA, 2007).

Este assunto será abordado, neste estudo, com maior foco, no capítulo 4 que trata das boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte.

5. BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE

Os próximos itens apresentam conceitos sobre gestão ambiental e informações sobre boas práticas que podem ser adotadas visando um gerenciamento ambientalmente melhor para o uso dos fluidos de corte em operações de usinagem de metais.

Segundo Greeley e Rajagopalan (2004), para combater a elevação dos custos e os encargos ambientais, as companhias têm focado na melhoria do gerenciamento dos fluidos de corte, enfatizando a racionalização do uso do produto, controle do processo e reciclagem.

5.1 Gestão ambiental

Gestão ambiental, do ponto de vista empresarial, é a gestão cujo objetivo é conseguir que os efeitos ambientais não ultrapassem a capacidade de carga do meio onde se encontra a organização, ou seja, obter-se um desenvolvimento sustentável (REIS, 2005).

Para Cajazeira (2004), com a evolução dos eventos em torno do desenvolvimento sustentável, as empresas, de um modo geral, e principalmente aquelas com maior potencial de degradação ambiental, passam a lidar com uma diversidade de partes interessadas, a legislação ambiental cresce em quantidade e complexidade, assim como, surgem consumidores que levam em conta as características ambientais para selecionar produtos e serviços, investidores começam a se preocupar com os passivos ambientais e cuidar do meio ambiente melhora a reputação das empresas e favorece o seu desempenho financeiro e mercadológico.

Além disso, de acordo com Tocchetto (2006), a introdução da variável ambiental no sistema de gestão de empresas de alto impacto ambiental torna-as mais eco eficientes, proporcionando vantagens, tais como o aumento de rendimento das matérias-primas, a redução da geração de resíduos perigosos, a diminuição dos custos de produção e do tratamento e disposição, além de ganhos consideráveis para a saúde dos trabalhadores, meio ambiente e da população.

Assim, de acordo com Dairot (2001), na busca pela qualidade de produtos, processos e serviços e ao atendimento às pressões exercidas pelos diversos

agentes interessados, surge, nas empresas, uma nova dimensão que é a qualidade ambiental; dimensão esta que requer mudança de cultura e de procedimentos das organizações que se reflita na minimização ou eliminação dos impactos ambientais negativos causados por suas atividades produtivas, mediante melhoria do desempenho ambiental de seus produtos, processos e serviços, sendo que, as decisões e ações empresariais precisam integrar a busca da qualidade ambiental às atividades de rotina da empresa, passando a tratar as questões ambientais por meio de um sistema organizado, isto é, um Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

Um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é um sistema que identifica oportunidades de melhoria para redução de impactos ambientais gerados dentro da Empresa e para funcionar adequadamente o sistema exige o comprometimento da Empresa com o meio ambiente e a elaboração de planos, programas e procedimentos específicos (CNTL, 2003).

Segundo Oliveira (2007), um SGA deve ter três pilares de sustentação, sendo eles a prevenção da poluição, atendimento da legislação ambiental vigente e melhoria contínua do Sistema.

De acordo com o CNTL (2003), a elaboração de planos, programas e procedimentos específicos requer a homogeneização de conceitos, ordenação de atividades e criação de padrões e procedimentos que sejam reconhecidos pelos diferentes agentes que estejam envolvidos com alguma atividade produtiva que gere impacto ambiental, isto é, um sistema de gestão ambiental requer uma norma ambiental.

5.2 Normas da gestão ambiental

Conforme Reis (2005), o processo de gestão ambiental está profundamente vinculado a normas legais que são elaboradas pelas instituições públicas (prefeituras, governos estaduais e federal) sobre o meio ambiente e que fixam os limites aceitáveis de emissão de substâncias poluentes, definem em que condições serão descartados os resíduos, proíbem a utilização de substâncias tóxicas, definem a quantidade de água que pode ser utilizada e o volume de esgoto que pode ser lançado.

Já as normas da gestão ambiental surgiram para tentar estabelecer um conjunto de procedimentos e requisitos que relacionam o meio ambiente com os projetos, desenvolvimento, planejamento, fornecedores, produção e serviços pós-

venda das empresas, podendo ser aplicadas em qualquer atividade econômica, fabril ou prestadora de serviço, especialmente naquelas cujo funcionamento ofereça risco ou gere efeitos danosos ao meio ambiente (CNTL, 2003).

As normas ISO são normas ou padrões desenvolvidos pela *Internacional Organization for Standardization* (ISO), organismo internacional não governamental com sede em Genebra e que no Brasil tem como única representante a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), sendo que, as normas ISO 14000 são uma família de normas que buscam estabelecer ferramentas e sistemas para a administração ambiental de uma organização, objetivando a padronização de algumas ferramentas-chave de análise, tais como a auditoria ambiental e a análise do ciclo de vida e que têm como eixo central a norma ISO 14001, que estabelece os requisitos necessários para a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) (REIS, 2005)

Segundo Cajazeira (2004), a série de normas ISO 14000 buscou o alinhamento com a série de normas sobre Qualidade, a série ISO 9000, explicitando assim a necessidade de integração entre os conceitos de qualidade e de meio ambiente, sendo que, a certificação pela ISO 14001:2004 é uma validação reconhecida das conformidades de uma organização de seu Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em relação aos padrões dessa norma, por uma empresa certificadora independente e a auditoria de certificação tem como objetivo verificar se o SGA da organização está conforme os padrões da ISO 14001:2004.

A versão brasileira da norma ISO 14001:2004 é a NBR ISO 14001: 2004, sendo que, tanto as versões internacionais quanto a brasileira tiveram suas primeiras versões em 1996, ambas passaram por uma atualização em 2001 e tiveram uma nova versão em 2004, sendo que, entre os benefícios para a empresa certificada está a satisfação de necessidades contratuais principalmente para exportação; expansão de mercados e da base de clientes; maior competitividade; melhoria da imagem principalmente para clientes, fiscalização, funcionários, investidores e para as comunidades envolvidas com a empresa (BISPO, 2006).

Importante observar que, segundo Oliveira (2007), um Sistema de Gestão Ambiental não necessita obrigatoriamente seguir a recomendação da norma ambiental ISO 14001, isto é, um SGA pode ter sua estruturação diferenciada daquela determinada na norma ISO 14001.

Em estudos realizados por Dandolini (2007), ficou constatada uma relação de que quanto maior a empresa quer por motivos legais ou filosofia de trabalho da planta matriz, maior o grau de preocupação ambiental, enquanto pequenas e médias empresas ainda não se importam devidamente com os resíduos provenientes do setor produtivo e na melhoria contínua de sistemas de gestão ambiental, sendo que, a principal diferença entre essas empresas, além da filosofia de conscientização ambiental, é o investimento que se tem nas grandes empresas objetivando pesquisas e experimentações de novas tecnologias, as quais obtêm produtos menos agressivos ao ambiente.

5.3 Metodologias de gestão ambiental

De acordo com Reis (2005), um dos aspectos mais relevantes da gestão ambiental empresarial é a gradativa compreensão de que a adoção de medidas que visam a uma maior eficiência na prevenção da contaminação é vantajosa não só do ponto de vista de se evitarem problemas ambientais, mas também porque resultam em aumento da competitividade.

Segundo Tocchetto (2004), metodologias tais como: *Waste Minimization* (Minimização de Resíduos ou simplesmente Minimização), *Best Available Techniques* “– BAT, (Melhores Técnicas Disponíveis), Descarte Zero, Produção Limpa, Produção Mais Limpa e Tecnologias Limpas”; que permitem a introdução de estratégias preventivas de reuso, de recuperação e de redução, possibilitam a prevenção do impacto ambiental do processo, reduzindo a geração de resíduos e racionalizando o consumo de recursos naturais, uma vez que, à medida que a prevenção vai sendo priorizada no processo, a reciclagem externa vai diminuindo ou sendo eliminada, permitindo ainda, a introdução do conceito de ciclo de vida no sistema de produção, oferecendo uma resposta efetiva para atingir a sustentabilidade.

5.4 Produção mais Limpa (P+L)

De acordo com o Relatório sobre Produção mais Limpa e Consumo Sustentável na América Latina e Caribe (São Paulo, 2004) a definição para Produção Mais Limpa é aquela adotada pelo PNUMA, conforme segue:

O conceito de Produção Mais Limpa (P+L) foi definido pelo PNUMA, no início da década de 1990, como sendo a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eco-eficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente. Aplica-se a:

Processos produtivos: inclui conservação de recursos naturais e energia, eliminação de matérias-primas tóxicas e redução da quantidade e da toxicidade dos resíduos e emissões;

Produtos: envolve a redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a extração de matérias-primas até a sua disposição final, e

Serviços: estratégia para incorporação de considerações ambientais no planejamento e entrega dos serviços.

O Centro Nacional de Tecnologias Limpas (SENAI-RS, 2003) adota a seguinte definição:

Produção mais Limpa é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, por meio da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, econômicos e de saúde ocupacional.

A figura 12 representa a evolução das empresas rumo à Produção mais Limpa, segundo as argumentações do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (2006), ressaltando as diferenças de atuação entre a abordagem das ações de fim-de-tubo e aquela apresentada pela Produção mais Limpa, destacando que enquanto a primeira dedica-se à solução do problema sem questioná-lo, a segunda realiza um estudo direcionado para as causas da geração do resíduo e o entendimento das mesmas, priorizando as ações de Produção mais Limpa tanto aquelas focadas no processo, tais como reciclagem interna; boas práticas operacionais e substituição de matérias-primas, como aquelas que visam o ciclo de vida do produto tais como a modificação tecnológica e modificações no produto



Figura 12: Evolução das empresas rumo à Produção mais Limpa (CNTL, 2006).

De acordo com o CNTL (2003), a metodologia de gestão ambiental P+L, quando devidamente implementada, privilegia as soluções voltadas para a prevenção e minimização, uma vez que, sugere que as empresas atuem na fonte geradora, buscando alternativas para o desenvolvimento de um processo eco-eficiente, resultando na não geração dos resíduos, redução ou reciclagem interna e externa, além disso, esta contribui de forma efetiva para a solução do problema ambiental, e, apesar de ser mais complexa, uma vez que exige mudança no processo produtivo e/ou a implementação de novas tecnologias, permite uma redução permanente dos custos gerais, incorporando os ganhos ambientais, econômicos e de saúde ocupacional.

Conforme Reis (2005), há um diferencial significativo, em termos de competitividade, na implementação de uma tecnologia de final do processo produtivo ou de prevenção da contaminação, uma vez que a tecnologia que recorre à diminuição da contaminação no final do processo produtivo, retendo os resíduos, implica em uma perda de competitividade, enquanto que a prevenção da contaminação ao longo do processo produtivo aumenta a competitividade.

A figura 13 mostra os três níveis e as principais estratégias para minimização de resíduos com vistas à identificação de oportunidades de Produção mais Limpa, sendo que é importante que as medidas sejam focadas no nível 1 e somente após

esgotadas as medidas neste nível é que os níveis 2 e 3 devem ser trabalhados, uma vez que os custos crescem nesta ordem (CNTL, 2003)



Figura 13 – Identificação de oportunidades de PmaisL. (CNTL, 2003)

A identificação de oportunidades de minimização de resíduos requer, antes de tudo, entendimento do processo e envolvimento das pessoas que detêm o conhecimento das diferentes etapas do sistema produtivo (ROCCA ET AL., 1993).

De acordo com o Centro Nacional de Tecnologia Limpa (2006), os caminhos que direcionam o processo de usinagem à PmaisL são basicamente dois: aumento da vida dos fluidos de usinagem e introdução de novas tecnologias, isto é, aquelas que não utilizam ou utilizam pouco fluido, sendo que, o aumento da vida útil dos fluidos é a medida mais eficaz para reduzir a geração de resíduos.

Assim, aplicando-se o conceito da PmaisL ao gerenciamento dos fluidos de corte, segundo Oliveira e Alves (2007), um exemplo de redução na fonte por meio de modificação no produto é a otimização no projeto da peça buscando-se trabalhar com peças com dimensões mais próximas possíveis ao do trabalho acabado, uma vez que assim, gerar-se-á uma quantidade menor de cavacos ao final do processo.

Já para a redução na fonte por modificação no processo existem três possibilidades, quais sejam: boas práticas operacionais (procedimentos preventivos na seleção, durante a utilização, durante a recuperação, tratamento e descarte final);

substituição de matérias-primas (pode-se buscar substituir fluidos de base mineral por fluidos de base vegetal; substituir constituintes agressivos à saúde e segurança ocupacional etc.) e por modificação tecnológica (existem técnicas que minimizam ou até mesmo eliminam o uso de fluidos de corte tais como: mínima quantidade de lubrificante, usinagem a seco, usinagem a laser e usinagem de precisão) (CNTL, 2006; OLIVEIRA E ALVES, 2007).

Segundo Oliveira e Alves (2007), uma vez esgotadas as alternativas de reduzir os resíduos na fonte, aplica-se à reciclagem interna por meio de sistemas de tratamento e reciclagem capazes de remover os contaminantes e reajustar a concentração do fluido antes do seu retorno à máquina.

Ao final da vida útil, quando não for viável a reciclagem, no caso dos fluidos integrais, podem ser enviados para rerrefino, adotando-se assim a estratégia do reuso de resíduos e emissões por meio da reciclagem externa (Runge e Duarte, 1990).

5.5 Boas práticas ambientais, indicadores de desempenho e benchmarking ambiental.

Segundo Lavorato (2004), “independente do modelo de gestão adotado, é imperativo a aferição dos resultados, pois de outra forma perde-se a garantia de comprovação da eficiência do modelo”, sendo que, mediante este requisito, os modelos de gestão sugerem a adoção de indicadores de desempenho como forma de aferição e análise para tomadas de decisão e ajustes que se fizerem necessários.

Indicadores de desempenho são entendidos como expressões quantitativas ou qualitativas que fornecem informações sobre determinadas variáveis e suas inter-relações, ou seja, informações indispensáveis para processos de melhoria contínua nas empresas (LAVORATO, 2004).

Lavorato (2004), defende a idéia do Benchmarking entre empresas de setores correlatos e define: “Benchmarking trata-se de uma ferramenta que serve para descobrir, analisar, comparar, aprender com empresas líderes em seus segmentos, métodos e processos competitivos, e assim adaptar este novo conhecimento nos próprios processos para aumentar a competitividade de seu negócio”.

5.6 Boas práticas ambientais no gerenciamento dos fluidos de corte

Atualmente, segundo Simon (1999 apud Füsse, 2001), confirmando a tendência de preocupação com o meio ambiente na utilização de fluidos de corte, constata-se ênfase dada à tecnologia ambiental no que diz respeito às máquinas-ferramenta, buscando-se um processo de usinagem menos agressivo ao meio ambiente, tais como: tecnologias relacionadas com a usinagem a seco, usinagem com mínima quantidade de fluido de corte, usinagem com ar resfriado etc., assim como, novos métodos para manuseio e tratamento dos cavacos que facilitam o descarte, recuperam o fluido de corte e reduzem a necessidade de espaço e a influência do calor na máquina e na peça usinada.

De acordo com Sheng e Srinivasan (1995), em operações de usinagem, as interações entre os aspectos térmicos, mecânicos e químicos do processo na geração dos resíduos são complexas, entretanto, devido às severas regulamentações ambientais, assim como a crescente preferência dos consumidores por produtos “verdes”, os fabricantes têm buscado meios pro ativos de redução tanto da quantidade quanto do impacto gerado pelos resíduos, mediante a melhoria dos projetos, processos e gerenciamento.

Segundo Teixeira Filho (2006), os custos relativos aos fluidos de corte, tais como àqueles decorrentes da aquisição, armazenamento, manutenção e descarte; assim como os perigos à saúde ocupacional e a pressão de legislações cada vez mais severas com os descartes industriais, têm obrigado as empresas a se aprofundarem nas questões de compatibilidade ambiental de suas produções.

De acordo com o Centro Nacional de Tecnologia Limpa cada tipo de fluido é recomendado para determinada operação, sendo esta competência exclusiva do fabricante, que orienta a correta diluição que cada fluido deve seguir, bem como a utilização correta de aditivos e de biocidas. Os riscos e efeitos adversos podem ser geralmente evitados, seguindo-se as precauções e procedimentos resumidos nas Fichas de Informações de Segurança dos Produtos (FISPQ).

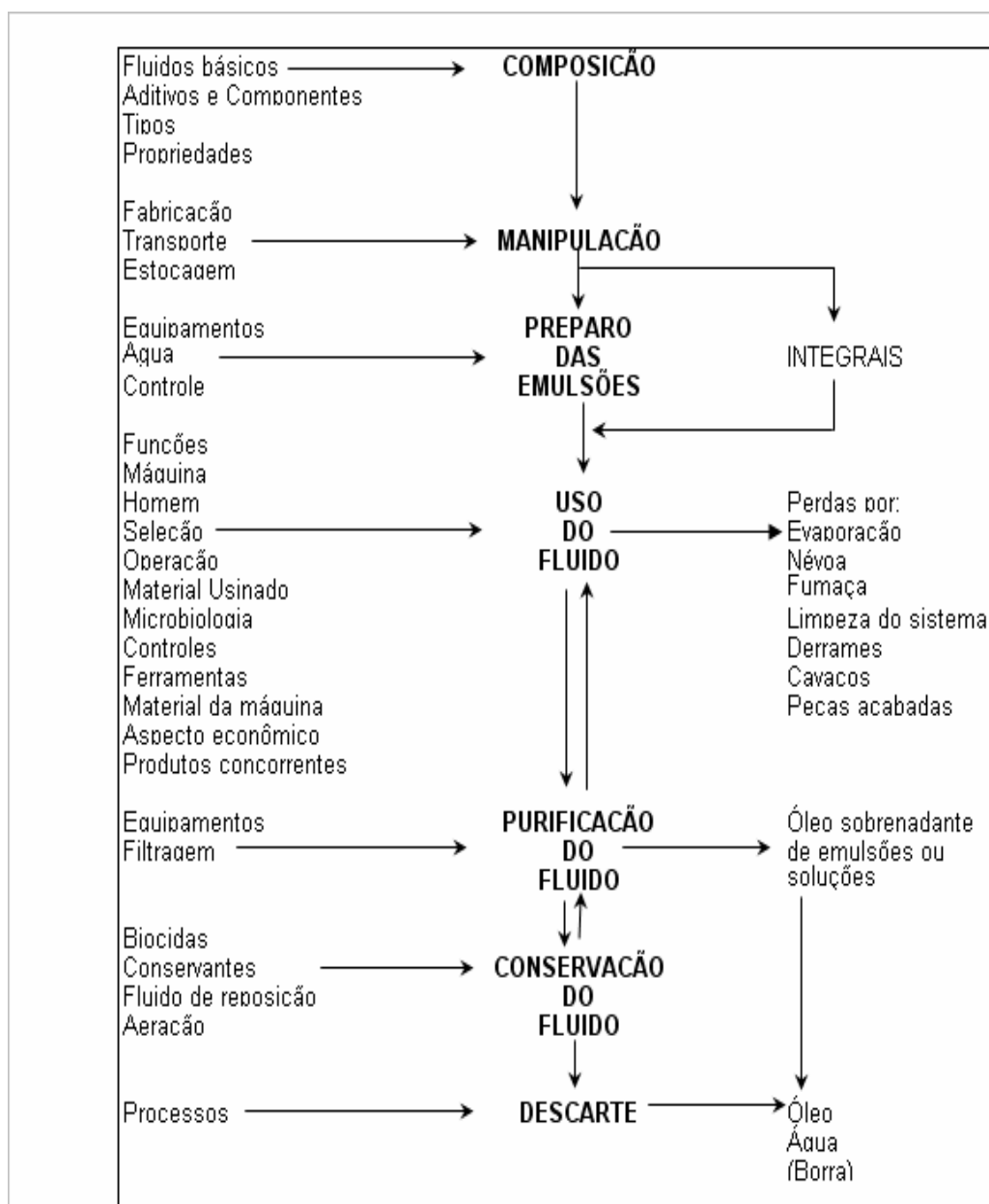


Figura 14 – Cadeia produtiva dos fluidos de corte, desde a sua elaboração até o seu descarte, e sua interação com o meio ambiente. (Runge e Duarte,1990).

A figura 14 representa, a cadeia produtiva dos fluidos de corte desde a sua elaboração até o seu descarte final e a sua interação com o meio ambiente, considerando que em um processo de usinagem, os fluidos de corte são uma parte integrante dos processos de fabricação de peças mediante a remoção de cavacos, dentro do sistema que compreende a máquina operatriz, as ferramentas de corte, as peças em produção e o fluido de corte, as interações com meio ambiente resultam em efeitos adversos por motivos tais como: o óleo integral não é biodegradável, as

emulsões e fluidos sintéticos possuem uma gama diversificada de produtos químicos em sua composição que requer tratamento e que, se lançados nos recursos hídricos ou no solo, podem provocar danos ao ecossistema e à população, pode haver comprometimento do ar em decorrência dos aerossóis e dos vapores gerados pelo contato com superfícies quentes das peças e ferramentas empregadas. (RUNGE e DUARTE, 1990).

Nos próximos itens deste capítulo serão abordadas algumas boas práticas operacionais que podem resultar em um bom gerenciamento ambiental dos fluidos de corte.

5.6.1 Selecionar com visão ambiental

De acordo com Tan et al (2002), selecionar fluido de corte visando o gerenciamento ambiental é um problema complexo devido à multiplicidade de objetivos envolvidos na tomada de decisão.

Com as crescentes exigências e regulamentações governamentais, certificações ambientais, consumidores focados em produtos verdes e preocupação a respeito da exposição dos trabalhadores aos fluidos de corte, os fabricantes devem considerar uma ampla variedade de novas características para tomar suas decisões e escolhas dos fluidos adequados (EPPERT J. J., GUNTER K. L., SUTHERLAND, J.W., 2001).

Segundo El Baradie (1997), há uma grande variedade de fluidos de corte e de métodos de aplicação disponíveis para aplicação industrial, entretanto, justificativas econômicas e de seleção não são tão racionais quanto poderiam ser.

Conforme Axinte D., Axinte M. e Tannock J.D.T. (2003), os fluidos de corte para processos de usinagem devem ser selecionados objetivando a diminuição dos custos com as ferramentas, ao mesmo tempo em que consegue alta qualidade da superfície usinada e diminui os impactos ambientais, sendo que, é uma difícil tarefa identificar o melhor fluido de corte, especialmente quando vários e diferentes métodos de usinagem são empregados na mesma máquina-ferramenta.

Segundo Silva, Bianchi e Aguiar (2001), para uma seleção correta de um fluido de corte é necessário definir os parâmetros prioritários para a operação de usinagem que será desenvolvida e que está associada a uma série de fatores inter-relacionados, tais como: aspectos econômicos, tipo de máquina operatriz, custos relacionados aos procedimentos de descarte (aspecto ambiental), tipo de sistema de

circulação de fluido de corte, segurança e saúde ocupacional, contaminação do fluido, meios de controle, método de aplicação do fluido, severidade da operação, tipos de operação, materiais usinados, compatibilidade do metal com o fluido, diminuição das energias de retificação etc.

De acordo com Eppert J. J., Gunter K. L., Sutherland, J.W. (2001), o esquema tradicional de seleção de fluidos de corte não reconhece a complexidade associada aos conceitos ambientais, de saúde e segurança ocupacional e o papel das propriedades termofísicas que influenciam na performance do processo.

Conforme Chen et al (2007), considerando que o custo com o descarte dos fluidos de corte pode se tornar maior do que o seu custo de compra, a tratabilidade do fluido de corte esgotado está se tornando, cada vez mais, o principal critério de seleção deste insumo.

Segundo Eppert J. J., Gunter K. L., Sutherland, J.W. (2001), recentes discussões na indústria automobilística indicam que, atualmente, as decisões de seleção dos fluidos de corte têm sido freqüentemente baseadas na facilidade com que poderão ser tratados, tanto quanto nos benefícios esperados para o processo, assim, além dos padrões técnicos, tais como a capacidade de refrigeração e de redução da tensão superficial, os quais estão ligados à performance do processo, os fabricantes devem prevenir-se com novas métricas relacionadas às considerações ambientais e de saúde e segurança ocupacional, tais como: toxicidade, flamabilidade e tratabilidade.

Com este intento, Eppert J. J., Gunter K. L., Sutherland, J.W. (2001), desenvolveram um modelo, baseado em um método estatístico, onde sugerem que os fluidos de corte sejam categorizados em grupos de análise (*Clusters analysis*), os quais maximizam as similaridades dos fluidos sem grupo, assim como, maximizam as diferenças entre os fluidos de mesmos grupos, permitindo que a seleção seja realizada de acordo com os atributos desejados, tanto aqueles que visam a performance do processo: densidade, viscosidade, tensão superficial etc., como podem ser estendidos para os parâmetros ambientais e de saúde e segurança ocupacional, tais como: de toxicidade, flamabilidade e tratabilidade.

Também Tan et al (2002), apresentam um modelo para seleção ótima de fluido de corte visando o gerenciamento ambiental, no qual consideram três objetivos como fatores críticos para a seleção, sendo eles: a qualidade, o custo e o impacto ambiental, quando no modelo tradicional de seleção considera-se apenas a

qualidade e o custo. Segundo esses autores, a fórmula proposta pelo modelo prevê maximizar a qualidade, minimizar os impactos ambientais e minimizar os custos.

5.6.2 Reduzir na fonte o consumo dos fluidos de corte

Segundo Jarrard (1993), Hydrick (1994), Lukas (1994), devido às severas regulamentações ambientais, limites cada vez mais restritos para descarte na rede de esgoto, elevação dos custos dos fluidos de corte, somados aos conceitos de responsabilidade ambiental e aumento do custo com a disposição final; as vantagens econômicas associadas com o prolongamento da vida útil dos fluidos de corte tornaram-se aparente e o gerenciamento dos fluidos de corte tornou-se uma alternativa atrativa para a prevenção da poluição.

Também segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), as regulamentações ambientais e o crescimento da demanda pela engenharia de alta performance levou ao desenvolvimento do conceito de gerenciamento dos fluidos de corte, o qual refere-se a um gerenciamento integrado, em todos os estágios de produção aos quais os fluidos de corte estão relacionados.

Segundo Bienkowski (1993), Jarrard (1993), Koelsch (1994), um programa efetivo de prevenção à poluição pode manter o fluido limpo por mais tempo, prolongando sua vida útil, reduzindo o resíduo gerado, reduzindo as obrigações ambientais devido à redução do resíduo gerado e redução do descarte externo. Além disso, os autores acrescentam, ainda, fatores tais como: é mais fácil estar em conformidade com as regulamentações ambientais; as máquinas ficam limpas, requerendo menos manutenção e reparos e prolongando a vida útil das ferramentas de corte; promove um ambiente e trabalho mais saudável e seguro para o operador da máquina.

Segundo Runge e Duarte (1990), o aumento da vida útil do fluido de corte resultam em redução de custo, tanto de recompra do insumo quanto de descarte do fluido de corte usado.

De acordo com Silliman (1992), pelo menos três oportunidades podem ser consideradas para a implementação de um programa de gerenciamento dos fluidos de corte, tais como: desenho apropriado na fase de construtiva da máquina-ferramenta poderá evitar perdas na utilização; minimizar o resíduo gerado mediante instalação de um sistema de filtração e reciclagem e finalmente, depois das ações mencionadas, mesmo havendo redução drástica da quantidade de resíduo gerada,

ainda assim, o resíduo resultante deverá ser devidamente tratado e descartado de maneira eficiente e de acordo com a legislação aplicável.

Os próximos itens apresentam ações de boas práticas de fabricação que poderão resultar em efetiva redução do consumo do fluido de corte na fonte, tornando-se, conseqüentemente, atitudes de boas práticas ambientais na utilização dos fluidos de corte em operações de usinagem.

5.6.2.1 Monitoramento, manutenção e prolongamento da vida útil.

Segundo Lukas (1994), o monitoramento e a manutenção da qualidade do fluido são elementos cruciais para o sucesso de um programa de redução do consumo de fluidos de corte na fonte, sendo que, importantes aspectos do monitoramento incluem passos tais como: inspeções do sistema, medidas e ajustes periódicos dos parâmetros tais como a concentração, o pH e o crescimento microbiológico, assim como, correção apropriada de biocidas, remoção de óleo contaminante e dos cavacos.

5.6.2.1.1 Estocagem

Segundo Silliman (1992), o controle de qualidade dos fluidos de corte começa com boas condições de estocagem, sendo a temperatura um parâmetro que deve ser observado e as temperaturas extremas devem ser evitadas. Além disso, os fluidos de corte solúveis em água requerem mais cuidados na estocagem do que os óleos integrais, uma vez que, devido à complexidade da composição química dos fluidos emulsificáveis, estes são mais propensos às mudanças físicas resultantes de temperaturas muito altas muito baixas de estocagem.

5.6.2.1.2 Preparação do fluido de corte

De acordo com El Baradie (1996), os óleos solúveis formam uma emulsão de gotículas, sendo a água a fase contínua na emulsão óleo em água. A emulsão somente é estável se alguns cuidados forem tomados e o óleo for adicionado à água com constante agitação, sendo que, a água nunca deverá ser adicionada ao óleo, uma vez que poderá resultar na formação de uma emulsão invertida, isto é, água dispersa em óleo. Além disso, El Baradie (1996) recomenda que a água, o óleo e os tanques de diluição utilizados sejam limpos e de qualidade apropriada.

Segundo Runge e Duarte (1990), a preparação de fluidos de corte solúveis em água requer unidades compactas para o preparo e manutenção e podem consistir de itens tais como: aparelhos dosadores de fluido de corte concentrado; aparelhos para a compensação de propriedades tais como pH e concentração; misturadores para o preparo de emulsões homogêneas; unidade para o preparo da água (deionização); tanques para emulsão nova, para o abastecimento das máquinas; tanque para emulsões sujas, com filtragem e agitação; separadores com bomba para a separação de óleo contaminante e impurezas sólidas; central elétrica com todos os comandos e controles necessários para a operação da unidade.

Hidal et al. (2004), propõem para fins de preparação e reposição de novas emulsões e como atitude de boa prática ambiental, o reuso da água permeada resultante de um processo de tratamento que utiliza a ultrafiltração e a nanofiltração, o que possibilita economizar água e reduzir o resíduo a ser descartado.

5.6.2.1.3 Concentração do fluido de corte

Segundo Silva, Bianchi e Oliveira (2005), a concentração dos fluidos de corte solúveis varia conforme o tipo de produto em uso e suas aplicações específicas, sendo que, o limite inferior não deve ser ultrapassado, uma vez que, este limite se refere à mínima concentração de utilização do fluido em condições que mantenham suas propriedades lubrificantes e anticorrosivas de projeto.

De acordo com Rossmore (1995), Runge e Duarte (1990) a alteração da concentração devido às perdas do processo e evaporação da água deve ser corrigida, sendo que, o monitoramento pode ser realizado por meio da determinação da concentração utilizando-se métodos tais como: refratometria, titulação, quebra ácida, entre outros.

5.6.2.1.4 Controle do pH, acidez e alcalinidade

Segundo el Baradie (1996), a concentração do íon hidrogênio, a qual é usualmente expressa como um valor de pH é a medida da acidez ou da alcalinidade de uma solução, sendo que o pH 0 representa extrema acidez; pH 7 representa neutralidade e pH 14 representa extrema alcalinidade.

De acordo com Silva et al (2002), o valor do pH é um forte indicativo do nível de ataque bacteriano presente na emulsão e da queda das propriedades anticorrosivas da mesma, uma vez que a acidulação gradual da emulsão ocorre,

principalmente, devido à geração, pelas bactérias, de subprodutos ácidos provenientes do metabolismo de seus nutrientes.

Segundo el Baradie (1996), estudos indicam que as bactérias raramente se desenvolvem em pH acima de 8,8 e, de acordo com Runge e Duarte (1990), a faixa de pH entre 6 e 8 é favorável ao crescimento das bactérias.

Conforme El Baradie (1996), se o pH cai abaixo de 8,5 a probabilidade de ataque corrosivo aumenta e, além disso, o crescimento microbiológico provoca odores desagradáveis e causa quebra da emulsão.

Runge e Duarte (1990) recomendam que o pH das emulsões seja controlado diariamente e mantido entre 9 e 10,5, sendo que, segundo El Baradie (1996) estudos indicam que o pH ideal situa-se na faixa de 9 a 9,3, mas que, entretanto, em climas quentes uma faixa mais alta é adotada por que o crescimento de bactérias é favorecido pelo calor.

Sendo assim, Runge e Duarte (1990) indicam os seguintes critérios quanto ao controle do pH das emulsões/soluções:

pH > 8,7 => A emulsão está satisfatória para continuar em uso e deve-se apenas adicionar pequenas quantidades de biocidas para a manutenção preventiva.

pH entre 7,8 e 8,7 => Deve-se adicionar biocidas em quantidades suficientes para o controle das bactérias e outros materiais para corrigir a emulsão.

pH < 7,8 => Trocar a emulsão.

5.6.2.1.5 Controle Microbiológico e a utilização de biocidas

De acordo com Rossmore (1990) o grande conteúdo de água presente nos fluidos emulsificáveis é o principal fator que contribui para a biodegradação, sendo que, os agentes químicos antimicrobiológicos tornaram-se parte integrante dos fluidos de corte desde as primeiras notícias sobre a atividade microbiológica.

Conforme Rossmore e Rossmore (1995), a demanda por biocidas eficazes são significantes e em geral espera-se que apresente compatibilidade com todos os tipos de fluidos, tempo de vida útil maior do que a taxa de reposição e que sejam efetivos contra todo tipo de microorganismos associados com a deterioração, somando-se ainda, fatores importantes tais como: ser aprovados por agências reguladoras, assim como, pelos comitês de saúde e segurança ocupacional e com tudo isso, contribuindo minimamente para o custo da operação de usinagem.

Também Runge e Duarte (1990) citam que a quantidade de biocida a ser adicionada encontra limitações tais como: custo, estabilidade do fluido concentrado e os efeitos da concentração excessiva sobre a saúde ocupacional, fatores estes, que indicam que as emulsões em uso devem receber adições controladas e compatíveis de biocidas.

Rossmore e Rossmore (1995) realçam que uma avaliação econômica incorreta na compra do biocida ou na decisão de reposição poderá acarretar em uma sequência de eventos tais como: o crescimento microbiológico causará queda de eficiência e o fluido poderá vir a ser descartado, implicando em custos de reposição e disposição; limpeza e recarga do sistema, perda de produtividade, além de provocar odores desagradáveis, doenças ocupacionais e corrosão das máquinas-ferramentas, sendo que, esta lista é mais do que suficiente para que se dê cuidadosa atenção para as determinadas considerações econômicas na seleção dos biocidas e no controle da biodegradação dos fluidos de corte.

Assim, segundo Runge e Duarte (1990), a adição dos biocidas no início do uso do fluido de corte é o momento ideal, sendo que, a reposição deve ocorrer periodicamente, objetivando as menores variações possíveis do pH e da contagem de microorganismos, uma vez que, este procedimento evitará a necessidade de adicionar materiais para elevar o pH e para reforçar as propriedades anticorrosivas.

Conforme Runge e Duarte (1990), é conveniente seguir as recomendações do fabricante do fluido de corte quanto ao tipo mais indicado de biocida e, além disso, é importante observar que os biocidas devem ser adicionados sempre nas quantidades requeridas, uma vez que, tratamentos incorretos, em níveis inferiores, resultam no aparecimento de cepas resistentes aos biocidas e excessivos, podem causar problemas de pele nos operadores das máquinas operatrizes.

Rossmore e Rossmore (1995) realçam, por fim, que o impacto ambiental pode ser reduzido pela degradação (bioremediação) do fluido de corte, usado e esgotado, pelos mesmos microorganismos que causaram a degradação inicial.

5.6.3 Reusar os fluidos de corte (Reciclagem interna)

De acordo com El Baradie (1996), um sistema de clarificação dos fluidos de corte é uma parte essencial de boas práticas em processos de usinagem, sendo que, em plantas modernas, os equipamentos de clarificação são altamente

desenvolvidos podendo ser instalados, tanto individualmente quanto em unidades centrais de suprimento.

Para El Baradie (1996), o termo clarificação abarca uma variedade de técnicas desde a filtração ortodoxa até a separação magnética ou por centrifugação, sendo que, algumas vezes, utiliza-se uma combinação de técnicas.

Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), os sistemas de purificação de fluidos de corte separam os contaminantes líquidos e sólidos e podem ser baseados em processos de separação mecânica, tais como: sedimentação, flotação, filtração, centrifugação e separação magnética, sendo que, segundo Runge & Duarte (1990), a decantação e a filtração são os processos mais utilizados na reciclagem de fluidos.

De acordo com El Baradie (1996), a seleção do equipamento e do processo dependerá da análise de vários fatores, tais como: tipo e volume de fluido de corte, proporção de contaminantes presentes e serão escolhidos de acordo com a classificação do contaminante que será removido, sendo que, segundo Runge e Duarte (1990), os sistemas de purificação dos fluidos de corte podem ser individuais ou centralizados e têm os seguintes objetivos:

- Reduzir a mão-de-obra com limpeza dos reservatórios;
- Maior controle e possibilidade de correção dos parâmetros de qualidade dos fluidos de corte;
- Separar, eficientemente, os finos metálicos e os resíduos de rebolos, entre outros contaminantes e obter conseqüente redução dos refugos e melhoria das peças produzidas;
- Aumentar a vida útil do fluido de corte, obtendo redução do custo de reposição e de descarte de fluidos de corte usados.

A figura 15 (IAMS & WRTT, 2003) ilustra os diferentes processos de separação utilizados para remover partículas dos fluidos de corte.

A figura 15 demonstra que o processo de separação mecânica para remoção de partículas pode ocorrer mediante um processo de filtração ou separação magnética ou por gravidade.

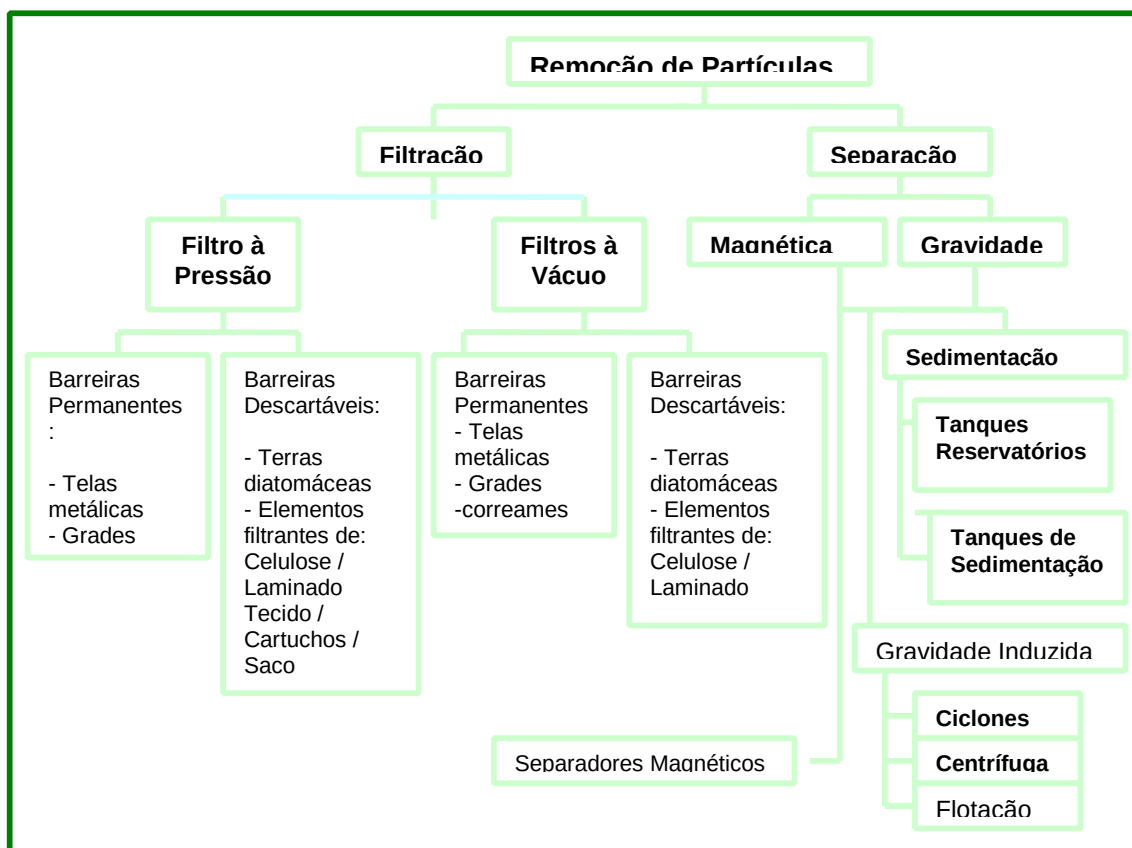


Figura 15 – Processos e Equipamentos utilizados para remover partículas dos fluidos de corte (HOWES, TÖNSHOFF E HEUER, 1991; adaptada).

Nos próximos itens serão apresentados alguns desses métodos de tratamento utilizados para remoção dos contaminantes sólidos existentes nos fluidos de corte durante sua utilização.

5.6.3.1 Sedimentação

Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), a sedimentação é a técnica de separação mais simples.

Os sistemas de separação de partículas por gravidade mais simples consistem de um tanque de sedimentação onde os resíduos são decantados pela ação da gravidade e podem ser removidos utilizando-se barras raspadoras afixadas a uma corrente que raspa o fundo do tanque e removem os resíduos mediante um plano inclinado em um dos lados do tanque. Este sistema pode ser sensivelmente melhorado acrescentando-se, no tanque de sedimentação, uma parede divisória que separe o fluido sujo do fluido limpo e uma chicana dividindo a superfície do fluido

para fins de separação do óleo sobrenadante e resíduos flutuantes (Runge & Duarte, 1990).

Segundo Evans, 1990 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), a técnica de separação por meio de tanques de sedimentação apresentam desvantagens tais como: os tanques são volumosos, as limalhas de ferro ficam impregnadas de óleo e há uma tendência de efetividade somente para partículas grandes.

5.6.3.2 Flotação

Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), a flotação é um processo no qual o fluido de corte é aerado para se conseguir a separação dos contaminantes, sendo que, durante a aeração, o fluido de corte e as finas partículas de substâncias contaminantes, tais como finos de metal, aderem às bolhas de ar e são carregadas para a superfície onde são mecanicamente escumadas para fora.

Este processo de remoção é usado depois que as partículas maiores e mais pesadas já foram removidas pela sedimentação (IOWA WASTE REDUCTION CENTER, 2003).

Conforme Eckhardt, 1983; Knobloch, 1979 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), sistemas de flotação são freqüentemente utilizados para remover óleo hidráulico que tenha sido carregado para dentro do sistema de recirculação do fluido de corte e de acordo com Vahle, 1984 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), o óleo escumado do fluido é removido para um tanque de sedimentação, para fins de remoção da água e finos residuais, sendo depois purificado em centrífugas ou equipamentos de filtração para reciclagem ou reuso.

5.6.3.3 Filtração

Segundo Runge & Duarte (1990), os equipamentos utilizados na filtração são filtros que possuem meios porosos através dos quais o fluido passa, por meio da força da gravidade, pressão, ou vácuo (sucção). Sendo que, segundo Joseph, 1987; Berger e Creps, 1990 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), como o próprio nome indica, os filtros por gravidade utilizam a gravidade para forçar o fluido através do meio filtrante, enquanto que, nos filtros por pressão o fluido é forçado a atravessar o meio filtrante utilizando um sistema de bombeamento e no caso dos filtros a vácuo o fluido é succionado para possibilitar sua passagem através do meio filtrante.

De acordo com Queiroz (2001), os meios filtrantes têm a função de reter as partículas de matérias indesejáveis utilizando-se filtros reutilizáveis ou descartáveis, sendo que, o meio filtrante reutilizável pode ser de metal, cintas ou telas e o meio filtrante descartável pode ser de papel, algodão, fibras sintéticas e outros materiais.

Aplica-se, também, um meio filtrante que utiliza materiais inorgânicos, tal como a terra diatomácea (DICKENSON, 1992 apud QUEIROZ 2001; EVANS, 1990 apud HOWES, TÖNSHOFF E HEUER 1991), sendo que esse tipo de filtragem é indicado para a remoção de partículas muito finas como as que são eliminadas durante o processo de retificação. Entretanto, Howes, Tönshoff e Heuer (1991) alertam para a desvantagem da utilização de terras diatomáceas, uma vez que este tipo de meio filtrante pode retirar, também, os aditivos de extrema pressão (EP) e os emulsificadores, descaracterizando, assim, os lubrificantes.

Runge & Duarte (1990) recomendam que se tome cuidado na seleção do meio filtrante, uma vez que, fibras de celulose e de raion tendem a atrair e absorver água enquanto as fibras sintéticas, tais como polietileno, polipropileno e poliéster tendem a repelir água, mas a atrair e absorver óleo, sendo que, dependendo do tipo de fluido de corte filtrado as características de filtração do meio poderão ser adversamente afetadas.

Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), as crescentes exigências legais, assim como, o aumento dos custos de descarte dos resíduos dos fluidos de corte levou as indústrias a buscar filtros mais eficientes e duráveis tais como os filtros reutilizáveis, os quais permitem a adaptação de um sistema de contra-lavagem para limpeza e regeneração do meio filtrante, objetivando, assim, segundo Queiroz (2001), evitar que o meio filtrante também se transforme em mais um tipo de resíduo industrial.



Figura 16 - Filtro a gravidade com reservatório e painel elétrico (KABELSCHLEPP DO BRASIL).

A figura 16 representa um filtro à gravidade com reservatório e painel elétrico KABELSCHLEPP, sendo que, segundo o fabricante, os filtros automáticos à gravidade consistem de uma armação de aço soldada e uma esteira transportadora de tela de arame que conduz o tecido filtrante através de uma cava de filtragem; um motoredutor, afixado num dos suportes laterais do rolo do tecido filtrante, que acionará o avanço da esteira, sendo que, os conjuntos são automáticos, com painel de comando central para avanço do tecido filtrante, bomba de alimentação e alarme sonoro indicativo do término da bobina de tecido.



Figura 17 Filtros a vácuo (KABELSCHLEPP DO BRASIL).

A figura 17 representa os filtros a vácuo KABELSCHLEPP, sendo que, segundo o fabricante são equipamentos universais que podem ser utilizados para óleo de corte e de retifica, emulsões ou soluções aquosas, independente do material a ser usinado ou da operação a ser efetuada.

5.6.3.4 Centrifugação

De acordo com Silliman (1992), a centrifugação é um processo de sedimentação acelerado utilizado para separação de sólidos contidos em líquidos, sendo que, segundo Sluhan (1988), as centrífugas utilizam a alta rotação para desenvolver a força centrífuga necessária para remoção dos contaminantes.

Separadores centrífugos podem remover tanto líquidos quanto sólidos contaminantes, separando o fluido sujo em três fases, segregando o fluido limpo do óleo e sólido contaminantes (BROWARZIK e KREBS, 1990 APUD HOWES, TÖNSHOFF E HEUER, 1991).

Segundo Evans, 1990 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), as centrífugas ocupam menos espaço do que os tanques de sedimentação porque a força centrífuga pode ser muito maior do que a força gravitacional, sendo que, de acordo com Evans, 1990 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991) usando este método, pequenas partículas podem ser removidas e uma alta proporção de fluido recuperada.

Na centrifugação, o fluido entra em alta rotação e as partículas mais leves são expelidas e as mais pesadas são retidas na superfície das paredes da centrífuga (Figura 17), sendo que, utilizando-se esse método, partículas metálicas podem ser removidas e uma quantidade maior de fluido de corte pode ser recuperada (BROWARZIK e KREBS, 1990 apud Queiroz, 2001).

A figura 17 ilustra um esquema de funcionamento de uma centrífuga.

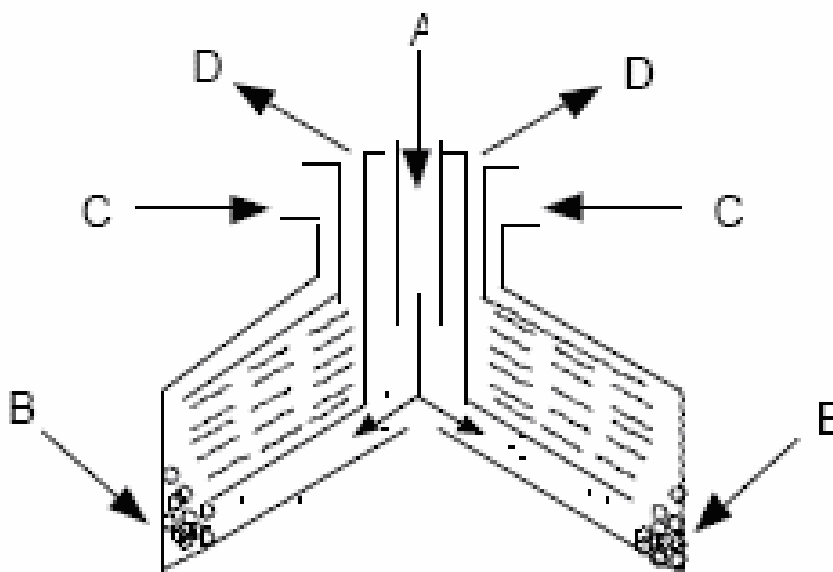


Figura 18 - Princípios de uma separadora centrífuga (Browarzik e Krebs, 1990 apud Queiroz, 2001).

A - entrada do fluido de corte sujo, B - acúmulo das partículas pesadas pela ação da força centrífuga, C - retorno do fluido limpo para a centrífuga e D - saída dos fluidos limpos (BROWARZIK & KREBS, 1990).

Na figura 18, a qual representa o princípio de funcionamento de uma centrífuga, o fluido sujo entra através do orifício (A), as partículas mais pesadas são acumuladas na extremidade (B) e o líquido mais limpo e de menor densidade, é retirado pelo orifício (D). Através do orifício (C) uma parte do líquido não utilizado

pela máquina-ferramenta retorna para centrifuga. A rotação da centrífuga faz com que o líquido limpo (mais leve) se concentre no seu vão central, sendo retirado pelo orifício (D), para novamente ser utilizado pela máquina ferramenta.

Uma aplicação prática da centrifugação é a separação dos cavacos do fluido de corte, sendo que, o cavaco, ao ser vendido, adquire melhores preços e o fluido de corte, antes desperdiçado, agora retorna ao sistema de refrigeração (DESMET, 1995 apud QUEIROZ, 2001).

Há, também, a possibilidade de utilização do processo de centrifugação mediante equipamentos tais como o hidrociclone, nos quais o fluido usado é bombeado tangencialmente dentro de um vaso cônico formando um vórtice que cria um vácuo no eixo do vaso e leva o fluido limpo para o topo enquanto os sólidos contaminantes são atirados para a parede do vaso e descartados por gravidade pelo fundo (VDI 1987 a, KNOBLOCH 1979, VAHLE 1984 apud HOWES, TÖNSHOFF e HEUER, 1991).

5.6.3.5 Separação magnética

De acordo com Howes, Tönshoff e Heuer (1991), esta classe de separadores utiliza forças magnéticas para remover, do fluido de corte, partículas sólidas contaminantes magnetizáveis.

Segundo Runge e Duarte (1990), separadores magnéticos removem ligas ferrosas e outras ligas magnéticas por meio de um tambor rotativo magnetizado ou correias magnetizadas, sendo que o fluido de corte flui próximo à superfície do tambor, que gira vagarosamente e atrai as partículas metálicas, levando os cavacos para cima e para fora da área de fluxo de fluido e no topo do tambor um dispositivo raspador remove as partículas. Finalizando o sistema, segundo El Baradie (1996), as partículas removidas são coletadas em um tipo de caçamba para disposição final.

De acordo com Silliman (1992), Runge e Duarte (1990), os separadores magnéticos são mais adequados e eficientes quando utilizados para fluidos de baixa viscosidade e fluidos de corte aquosos.

Os separadores magnéticos são limitados em tamanho e capacidade de fluxo de fluido, sendo necessário, algumas vezes, utilizar baterias de separadores magnéticos para clarificar sistemas maiores (RUNGE E DUARTE, 1990).



Figura 19 Separador magnético "Kabelschlepp" contra acúmulos de impurezas em líquidos (KABELSCHLEPP DO BRASIL).

A figura 19 representa um tipo de separador magnético que consiste em uma carcaça não magnética de alumínio, rotor magnético com imãs, moto redutor e um arrastador de latão, com abas laterais altas, montado na carcaça do separador magnético.



Figura 20 – Separador Magnético (TARTEC Indústria e Comércio Ltda).

A figura 20 demonstra um separador magnético automático que pode ser fornecido completo e que, segundo o fabricante TARTEC Indústria e Comércio Ltda, utilizado em retíficas e laminação de aços a frio, para retirada de lamas e carepas ferrosas.



Figura 21 - Filtro a gravidade com separador magnético, reservatório e painel elétrico (KABELSCHLEPP DO BRASIL).

A figura 21 representa um filtro à gravidade com reservatório e painel elétrico KABELSCHLEPP, sendo que, segundo o fabricante, opcionalmente, pode ser acoplado de separadores magnéticos para aumentar a eficiência da limpeza dos líquidos, em especial na remoção de partículas de ferros-magnéticos.



Figura 22 - Caçamba basculante para coleta de cavacos de máquinas operatrizes (KABELSCHLEPP DO BRASIL).

A figura 22 apresenta uma caçamba basculante para fins de coleta de cavacos de máquinas operatrizes KABELSCHLEPP, sendo que, segundo o fabricante, é projetada para recolher cavacos, peças, retalho de chapa e resíduos industriais recicláveis.

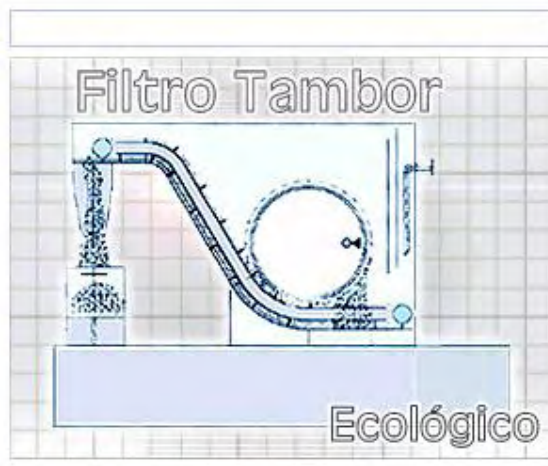


Figura 23– Filtro a tambor tipo ecológico (TARTEC Indústria e Comércio Ltda)

A figura 23 demonstra um filtro a tambor tipo ecológico que, segundo o fabricante TARTEC Indústria e Comércio Ltda., apresenta as vantagens de não utilizar papel filtrante descartável, o que possibilita reduzir o custo operacional; usar tela de nylon permanente, que não requer manutenção; além de ocupar reduzido espaço fabril e não necessitar utilizar trocador de calor devido ao seu volume de reservatório limpo (http://www.tartec.com.br/galeria-1/b_f-tamboreco.jpg)

5.6.4 Reciclar os fluidos de corte (Reciclagem externa)

De acordo com Oliveira e Alves (2007), uma vez esgotadas a possibilidade de reuso por meio da reciclagem interna ainda se pode agregar valores aos resíduos gerados, comercializando os cavacos limpos com outras empresas ou sucateiros e os fluidos de corte com uma empresa que faça o rerrefino.

A reciclagem externa aplica-se aos fluidos de corte integrais que, segundo Runge e Duarte (1990), podem ser vendidos para a rerrefinação.

A Resolução do CONAMA nº 362/2005 dispõe sobre o rerrefino de óleo lubrificante e determina que todo óleo lubrificante usado ou contaminado deverá ser recolhido, coletado e ter destinação final, de modo que não afete negativamente o meio ambiente e propicie a máxima recuperação dos constituintes nele contidos, na forma prevista nesta Resolução (BRASIL, 2005).

Esta resolução considera que a reciclagem do óleo lubrificante usado ou contaminado é instrumento prioritário para a gestão ambiental, assim como, todo o óleo lubrificante usado ou contaminado deve obrigatoriamente ser recolhido e ter destinação adequada, de forma a não afetar negativamente o ambiente, sendo proibidos quaisquer descartes em solos, águas subterrâneas, no mar e em sistemas de esgoto ou evacuação de águas residuais (REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL).

Nesta Resolução do CONAMA nº 362/2005 constam artigos que reforçam a política da reciclagem, de minimização da geração de resíduos perigosos, tais como:

- os óleos lubrificantes utilizados no Brasil devem observar, obrigatoriamente, o princípio da reciclabilidade;

- para fins desta Resolução, não se entende a combustão ou incineração de óleo lubrificante usado ou contaminado como formas de reciclagem ou de destinação adequada;

- os óleos lubrificantes usados ou contaminados não rerrefináveis, tais como as emulsões oleosas e os óleos biodegradáveis, devem ser recolhidos e eventualmente coletados, em separado, segundo sua natureza, sendo vedada a sua mistura com óleos usados ou contaminados rerrefináveis;

- o resultado da mistura de óleos usados ou contaminados não rerrefináveis ou biodegradáveis com óleos usados ou contaminados rerrefináveis é considerado integralmente óleo usado ou contaminado não rerrefinável, não biodegradável e resíduo perigoso (classe I), devendo sofrer destinação ou disposição final compatível com sua condição;

- os óleos básicos procedentes do rerrefino deverão se enquadrar nas normas estabelecidas pelo órgão regulador da indústria do petróleo e não conter substâncias proibidas pela legislação ambiental;

- o rerrefinador deverá adotar a política de geração mínima de resíduos inservíveis no processo de rerrefino, sendo que, o resíduo inservível gerado no processo de rerrefino será considerado como resíduo classe I salvo comprovação em contrário com base em laudos de laboratórios devidamente credenciados pelo órgão ambiental competente;

- os resíduos inservíveis gerados no processo de rerrefino deverão ser inertizados e receber destinação adequada e aprovada pelo órgão ambiental competente.

De acordo com a Portaria Interministerial nº 464/2007, "os produtores e os importadores de óleo lubrificante acabado são responsáveis pela coleta de todo óleo lubrificante usado ou contaminado, ou alternativamente, pelo correspondente custeio da coleta efetivamente realizada, bem como sua destinação final de forma adequada".(BRASIL, 2007).

5.6.5 Tratamento do resíduo e disposição final dos fluidos de corte

De acordo com Howes, Tönshoff e Heuer (1991), a quantidade de resíduo de fluido de corte pode ser substancialmente reduzida mediante um efetivo sistema de reciclagem, uma vez que o sistema de reciclagem permite a utilização do fluido de corte durante um maior período de tempo, entretanto, mesmo nos melhores casos, o fluido se degradará a ponto de se tornar inutilizável, chegando ao fim de sua vida útil e necessitando ser devidamente tratado e descartado com segurança.

Segundo Burke (1991), para melhor entendimento sobre o tratamento de resíduos de fluidos de corte deve-se considerar três categorias de dados, sendo eles:

1 - O tipo de resíduo que entra no sistema de tratamento (afluente), tais como: óleos integrais, óleos emulsificáveis, fluidos de corte semi-sintéticos, fluidos de corte sintéticos, detergentes e solventes de limpeza etc., isto é, um afluente residual típico conterá uma mistura de produtos o que exige a categorização para determinar o tratamento adequado.

2- A qualidade desejada para a água que sairá do sistema de tratamento (efluente) dependerá da destinação deste efluente, isto é, se será lançado em curso d'água superficial; em rede pública; para a atmosfera, via incineração ou evaporação ou utilizada para reciclagem. Esses efluentes são regulamentados por legislações federais, estaduais e municipais, ressaltando-se que as exigências legais para os efluentes lançados em cursos d'água superficiais são mais severas do que para aqueles destinados à rede pública.

3 - O tipo e método de tratamento, sendo que, segundo Burke (1991), há muitos e diferentes métodos de tratamento para fluido de corte.

5.6.5.1 Tipos de Resíduo

Segundo Burke (1991), um afluyente residual típico conterá uma mistura de produtos o que exige a categorização para determinar o tratamento adequado.

5.6.5.1.1 Resíduo de óleos de corte integrais

De acordo com Howes, Tönshoff e Heuer (1991), os óleos de corte integrais têm uma vida útil mais longa do que as emulsões e podem ser mais facilmente reciclados.

Segundo Runge e Duarte (1990), os óleos integrais usados podem ser comercializados para re-refinação ou podem ser regenerados pelo próprio usuário, pelo fabricante do fluido ou por uma companhia especializada, sendo que, conforme Howes, Tönshoff e Heuer (1991), o reciclador pode retornar o óleo reconicionado para o usuário.

Conforme El Baradie (1996), os problemas com o descarte de óleos integrais podem ser minimizados adotando-se um equipamento de recuperação, isto é, uma pequena planta de reciclagem de óleo integral, que esteriliza o óleo e remove os contaminantes mediante aplicação de calor, sedimentação, centrifugação e reposição da base concentrada, restaurando assim a qualidade necessária para uso.

De acordo com Koch e Weidel, 1988; Möller, 1985 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), se não for possível reciclar o óleo integral para reuso como fluido de corte, ele poderá ser utilizado como material combustível para produção de energia, sendo que, segundo Runge e Duarte (1990), a utilização do óleo integral em caldeiras deve preencher requisitos legais, tais como: estar seco e isento de partículas suspensas; não conter cloro; não possibilitar a formação de dioxinas e ser adequadamente diluído no óleo combustível.

5.6.5.1.2 Resíduo de emulsões e soluções de corte

De acordo com Silliman (1992), severas legislações ambientais proíbem o descarte de fluidos aquosos usados sem um extensivo e adequado tratamento.

Conforme El Baradie (1996), o problema para o descarte dos fluidos emulsificáveis esgotados é intensificado porque eles contêm uma grande quantidade de água e apresentam pequeno valor de recuperação.

Segundo Runge e Duarte (1990), Burke (1991), Howes, Tönshoff e Heuer (1991), El Baradie (1996), há necessidade de se separar o óleo da água antes do descarte, sendo que, para cada tipo de fluido aquoso a ser descartado, aplicam-se parâmetros específicos quanto ao processo de separação a ser adotado e, além disso, de acordo com Silva, Bianchi e Oliveira (2005), a seleção do processo a ser adotado depende de uma análise econômica criteriosa, onde o volume de material a ser descartado é um fator preponderante.

5.6.5.1.3 Composição e descarte dos resíduos sólidos

De acordo com Silva, Bianchi e Oliveira (2005), os resíduos sólidos em fluidos de corte são compostos por partículas metálicas; partículas abrasivas; partículas de resíduos de sais da água, que usualmente se concentram durante o uso; partículas resultantes da degradação biológica, resultante da combinação de H_2S , que é um subproduto do metabolismo de bactérias anaeróbias, com íons ferrosos, tornando as emulsões com um aspecto acinzentado e da proliferação de fungos que gera um material entrelaçado e filamentosos; assim como, por contaminantes externos, tais como poeira; óleo contaminante; soluções de limpeza; materiais orgânicos entre outros; sendo que, a remoção desses resíduos sólidos pode ser efetuada utilizando-se sistemas de purificação de fluidos de corte, individuais ou centralizados e processos de separação, tais como a decantação, escumação e filtração positiva, conforme tratado anteriormente.

Quanto às borras resultantes dos diferentes métodos de tratamento de resíduos líquidos dos fluidos de corte, segundo Runge e Duarte (1990), elas têm que ser descartadas em depósitos especiais ou queimadas em instalações especiais, conforme a legislação em vigor.

5.6.5.2 Métodos de tratamento de emulsões e soluções de corte

Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), o processo de tratamento para os fluidos aquosos são inevitavelmente mais complexos do que aqueles empregados para os óleos integrais e segue os seguintes estágios:

- Quebra da emulsão,
- Separação do óleo,
- Tratamento da fase aquosa,
- Tratamento da fase oleosa, seus precipitados e da borra saturada.

De acordo com VDI, 1987 b; Knobloch 1979; Möller, 1985; Spei e Wehle 1987; Sedelies et al. 1989; Burke 1991 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), muitos métodos são usados para quebrar as emulsões e separar a água do óleo, tais como: métodos mecânicos, físico-químico, térmico e biológico, sendo que, em muitos casos, é comum a prática combinada de vários desses métodos, sendo que, no caso dos fluidos de corte sintéticos, isto é, das soluções verdadeiras, pela característica intrínseca de rejeitarem óleo contaminante, o estágio de quebra dos sistemas usados para o descarte das emulsões.

5.6.5.2.1 Métodos mecânicos

Runge e Duarte (1990), Howes, Tönshoff e Heuer (1991), citam a ultrafiltração como alternativa de processo físico para separação das fases aquosas e oleosas dos fluidos de corte emulsificáveis, uma vez que o princípio de funcionamento das membranas de ultrafiltração se baseia nos diferentes tamanhos moleculares do óleo e da água.

De acordo com Burke (1991), as técnicas de separação de fluidos de corte por membranas filtrantes enquadram-se em três categorias:

- Microfiltração para partículas de 10^{-1} a 8,0 micra
- Ultrafiltração para partículas de 10^{-3} a 10^{-1} micra
- Osmose Reversa para partículas de 10^{-4} a 10^{-3} micra

Sendo que, na microfiltração a membrana não é suficientemente fechada para promover a adequada separação, especialmente no caso dos fluidos semi-sintéticos e sintéticos e, no outro extremo, as membranas de osmose reversa são facilmente obstruídas por moléculas orgânicas, especialmente as de óleo.

Assim, de acordo com Burke (1991), as membranas de ultrafiltração são as mais adequadas e que oferecem a melhor desempenho de separação e vida útil de membrana, sendo que, o tratamento do resíduo por ultrafiltração é um processo que ocorre a baixa pressão, utilizando um tanque, bomba, pré-filtro e a membrana de ultrafiltração, interconectados por um sistema de tubulação.

Entretanto, segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), Burke (1991), a ultrafiltração apresenta limitações técnicas e econômicas relevantes e que precisam ser analisadas, tais como: grandes quantidades de óleo livre ou alta concentração de sólidos poderá causar obstrução irreversível dos microporos da membrana e também solventes do tipo que atacam materiais plásticos poderão destruir as

membranas; a temperatura do fluido não poderá exceder a 40°C e as mesmas deverão ser mantidas limpas quando fora de uso ou poderá ocorrer crescimento de bactérias que provocarão um entupimento irreversível, além disso, certos compostos orgânicos dissolvidos e de baixo peso molecular poderão passar através da membrana e representar significativos problemas de poluição.

Hilal et al. (2004), propõem um sistema no qual as membranas de ultrafiltração são instaladas como um estágio de pré-tratamento seguido de uma membrana de nanofiltração que confere ao permeado um polimento tal que remove a turbidez e baixa a COD, permitindo o reuso do permeado resultante para elaboração de uma nova partida de fluido de corte, reduzindo a quantidade de água consumida e de resíduo a ser descartado.

5.6.5.2.2 Métodos químicos e físico-químicos

De acordo com Burke (1991), a maior parte dos resíduos de fluidos de corte é mais tratada por meio de algum processo químico do que por quaisquer outras formas de tratamento combinado, isto ocorre devido à adaptabilidade do processo tanto aos grandes volumes quanto a pequenas quantidades de resíduos; sendo que os processos químicos podem ser separados em duas categorias básicas, quais sejam: a separação por meio de adição de ácidos e sais inorgânicos e o método que utiliza polímeros.

Segundo Runge e Duarte (1990), nos processos químicos adicionam-se ácidos para quebrar as emulsões pela degradação dos emulgadores, sendo que, a reação química pode ser reforçada pela adição de sais metálicos e o óleo demulgado é retirado da superfície do fluido, no reservatório de tratamento de emulsão.

Conforme Burke (1991), no processo químico que utiliza polímeros o conceito básico é similar ao método químico convencional, isto é, adiciona-se alta carga de cátions para fins de desestabilização das cargas aniônicas, sendo que, a principal diferença é que os polímeros baseiam-se em compostos orgânicos com altas cargas que poderão ser catiônicas, aniônicas ou não-iônicas, o que dá flexibilidade e possibilita a escolha do produto polimérico de acordo com a carga residual a ser tratada. Além disso, segundo Koch e Weidel 1988; Wehle, 1988 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), não há aumento da presença de sais na água residual e a quantidade de borra oleosa formada é menor do que a do método tradicional,

entretanto, segundo Burke (1991), os polímeros são caros o que poderá resultar em elevação dos custos do tratamento dos resíduos.

Segundo Runge e Duarte (1990), nos processos físico-químicos, a reação química é auxiliada pelo aquecimento da emulsão, que, uma vez pré-quebrada, é separada em óleo e água em coluna de separação ou separadores, sendo que, a água separada é neutralizada e os sais usados para a quebra precipitam-se em forma de hidróxidos metálicos que, por sua vez, adsorvem o óleo remanescente na água.

5.6.5.2.3 Métodos térmicos

Segundo Runge e Duarte (1990), a quebra térmica é um processo físico que dispensa produtos químicos e na qual a água é retirada da emulsão por meio de evaporação seguida de condensação e de um segundo estágio de evaporação, enquanto o óleo permanece como resíduo uma vez que seu ponto de ebulição é mais elevado.

Conforme Evans, 1990; Möller, 1985 apud Howes, Tönshoff e Heuer (1991), Runge e Duarte (1990), as vantagens desse processo é que não há produção de borras e a pureza da água separada.

De acordo com Burke (1991), o método da evaporação é considerado apropriado para pequenos volumes de resíduo e apresenta como vantagens resultados consistentes para uma ampla variedade de fluidos e também o fato de ser um processo simples e de fácil entendimento e manutenção; entretanto, apresenta algumas desvantagens tais como: apresenta alto consumo de energia consumida por litro evaporado, requer muito espaço por volume diário de fluido tratado e os vapores podem ser corrosivos e liberar maus odores, especialmente se fluidos sulfurizados passam pelo evaporador.

5.6.5.2.4 Métodos biológicos

De acordo com Möller, 1985 apud Queiroz (2001), a principal limitação da utilização de métodos biológicos como alternativa de tratamento de fluidos de corte é a quantidade de biocidas encontradas nesses fluidos, uma vez que, o princípio básico do seu funcionamento é o desenvolvimento de microorganismos que eliminem os resíduos indesejáveis.

6. REDUZIR, REUSAR, RECICLAR - O PRINCÍPIO DOS 3Rs NA UTILIZAÇÃO DE FLUÍDOS DE CORTE NOS PROCESSOS DE USINAGEM

Neste capítulo é realizada uma correlação entre os estudos relacionados às boas práticas ambientais e à prática dos 3Rs na utilização de fluidos de corte em operações de usinagem.

6.1 Hierarquia no gerenciamento de resíduos

Segundo Barbieri (2005), Tocchetto (2004), os 3Rs significam Reduzir, Reusar e Reciclar.

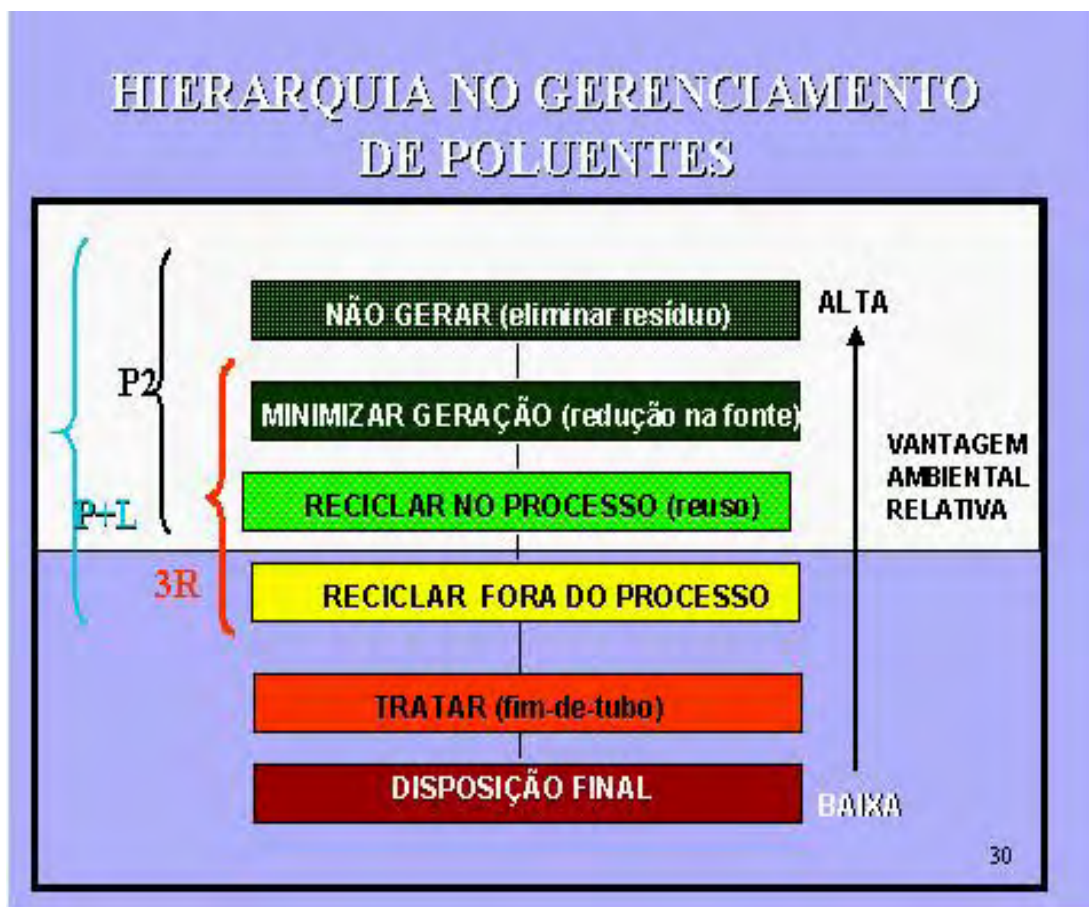


Figura 24 - A hierarquia no gerenciamento de poluentes (CETESB, 2002)

A figura 24 representa a abrangência das metodologias de gerenciamento de resíduos que pode ser adotada por qualquer empresa e destaca que o princípio dos

três Rs (3Rs), preconizado pela Agenda 21 (BARBIERE, 2005), é a base para evoluir para Prevenção da Poluição (P2) e para a Produção Mais Limpa (P+L), sendo que o Programa de Prevenção à Poluição (P2), refere-se a qualquer prática, processo, técnica e tecnologia que visem à redução ou eliminação em volume, concentração e toxicidade dos poluentes na fonte geradora, o que inclui também, modificações nos equipamentos, processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matérias-primas, eliminação de substâncias tóxicas, melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da empresa e otimização do uso das matérias-primas, energia, água e outros recursos naturais (CETESB, 2002).

6.2 O princípio dos 3Rs na utilização dos fluidos de corte

Este estudo localizou vários trabalhos publicados na literatura pesquisada que apontam para a preocupação com o meio ambiente e para a busca de soluções para minimizar e até eliminar os impactos adversos provocados pela utilização dos fluidos de corte.

Nos itens seguintes algumas dessas evidências foram correlacionadas com princípio dos 3Rs.

6.2.1 Primeiro R - REDUZIR

De acordo com Barbieri (2005), Tocchetto (2004), reduzir ou redução na fonte ou minimizar a geração envolve atividades e medidas para evitar o descarte de resíduos, isto é, reduzir refere-se à quantidade e práticas que reduzem a toxicidade, o que exige a adoção de providencias tais como, aperfeiçoamento dos processos produtivos para torná-los mais eficientes; revisão dos projetos dos produtos para facilitar a sua produção e ampliar o seu desempenho; utilização de matérias-primas com maior grau de pureza; eliminação ou minimização de materiais perigosos; recuperação das águas utilizadas nos processos; manutenção preventiva; procedimentos para conservação de energia; gestão de estoques que minimize as perdas por quebra em manuseio, obsolescência e perecibilidade; realização de monitorias e auditorias em bases sistemáticas; treinamento e conscientização dos operadores, transportadores, fornecedores, empreiteiros e usuários.

6.2.1.1 Redução na fonte mediante modificação no produto fluido de corte

Uma das alternativas de redução na fonte consiste na modificação do produto, o que significa buscar matérias-primas mais puras, substituir materiais tóxicos presentes na formulação objetivando que parâmetros relativos ao meio ambiente, aumento de produtividade e a saúde do operador sejam atingidos.

Segundo De Chiffre e Belluco (2002), uma das mais óbvias mudanças possíveis para tornar um fluido de corte ambientalmente amigável e seguro para o operador são a redução ou a eliminação de aditivos perigosos tais como os compostos halogênicos utilizados para extrema pressão, triazinas e aminas, assim como, a substituição total ou parcial dos fluidos de baseados em óleo mineral por produtos mais biodegradáveis, tais como os óleos vegetais e ésteres.

Alves e Oliveira (2006), reportam a experiência e os resultados do desenvolvimento de um novo fluido de corte para processos de retificação que utilizam rebolos de nitreto de Boro cúbico (CBN) capaz de promover um bom desempenho mecânico e baixo custo de aplicação, assim como, atender as exigências ambientais, conforme resumo descrito a seguir:

A base do fluido desenvolvido é uma combinação de óleo vegetal sulfonado com alta concentração de água para retificação com CBN em alta velocidade, possibilitando obter alta lubrificação e boa performance sobre retificação com CBN. Os testes demonstraram que a aplicação da formulação, em retificações com CBN, resulta em um processo com desempenho equivalente aquele obtido utilizando-se óleo mineral puro. Os parâmetros avaliados foram: desgaste radial do rebolo e a rugosidade da peça. Análises químicas mostram que o novo fluido é não-tóxico e de fácil biodegradabilidade (ALVES e OLIVEIRA, 2006).

John et al. (2004) investigaram e descreveram um método para a formulação de emulsões de óleo vegetal em água, conforme descrito a seguir:

As emulsões foram preparadas utilizando-se vários surfactantes, e a estabilidade dessas emulsões foram testadas mediante a variação de suas quantidades. Os efeitos dos diferentes surfactantes utilizados para produzir as emulsões, tanto com óleo de soja regular quanto modificado, são discutidos. As propriedades dessas emulsões foram testadas por métodos químicos e físicos quanto à estabilidade e aplicação como um fluido de usinagem de metal. Diagramas

de fase foram criados para determinar o efeito do óleo, água e taxas de surfactantes na formação da emulsão. O estudo produziu informações úteis para o desenvolvimento de sistemas baseados em emulsões a base de água com óleos vegetais modificados e diferentes agentes de atividade superficial (JOHN ET AL., 2004).

De Chiffre e Belluco (2002), investigaram o desempenho de dois diferentes grupos de fluidos de corte, aquosos e integrais, utilizando formulações baseadas em óleo minerais, vegetais e sintéticas, quando aplicados em diferentes operações de corte, tais como: torneamento, furação, mandrilhamento e rosqueamento, com respeito à vida da ferramenta, às forças de corte e à qualidade do produto no que se refere a acuracidade dimensional e integridade da superfície, para quatro diferentes tipos de materiais, porém com ênfase para o aço inoxidável austenítico. Utilizaram como referência, para ambos os grupos, fluido de corte convencional baseado em óleo mineral. Com o aço inoxidável austenítico, os fluidos de corte resultaram em diferentes magnitudes de eficiência dependendo da operação e da escolha dos parâmetros de corte. Como uma tendência geral, os fluidos aquosos classificaram-se na mesma ordem, independente da operação de corte. O que indica que é possível uma redução do fluido de corte testando métodos selecionados por operação. Entretanto, isto não pode ser generalizado, uma vez que a classificação do desempenho dos óleos de corte integral não é independente das operações de corte. Acrescenta-se que, para os testes conduzidos utilizando-se aço inoxidável austenítico, os óleos vegetais e ésteres apresentaram melhor desempenho em todas as operações, tanto quando utilizados no grupo aquoso quanto no grupo integral.

6.2.1.2 Redução na fonte mediante substituição de matérias-primas que entram no processo

Novaski e Rios (2002), apresentaram uma alternativa para os sistemas de remoção de cavacos que necessitam de fluido de corte em abundância, sugerindo a utilização de lubrificante sintético, que, segundo os autores, apresenta melhor desempenho e não gera grande quantidade de resíduos, conforme descrito a seguir:

O ensaio de furação com brocas helicoidais de metal duro revestidas com TiN realizado em aço inox austenítico apresentou redução significativa do desgaste VB, quando este foi processado utilizando-se fluido sintético em comparação com o sistema refrigerado por um fluido semi-sintético. Uma maior durabilidade da

ferramenta acarreta significativos ganhos no sistema produtivo reduzindo o custo do mesmo (Novaski e Rios, 2002).

6.2.1.3 Redução na fonte mediante modificação de tecnologia – novas tecnologias para aplicação dos fluidos de corte

- Usinagem a seco

De acordo com Chakraborty et al. (2008), a usinagem a seco e semi-seco está se tornando, de modo crescente, cada vez mais atraente para a indústria de corte de metal, nos Estados Unidos e pelo mundo inteiro, visando reduzir os efeitos prejudiciais dos fluidos de corte tradicionais e os custos associados com a compra, com o uso e com o descarte desses fluidos, além de atender aos novos padrões estabelecidos pela *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) E ISO 14001.

De acordo com o manual elaborado pelo Iowa Waste Reduction Center, 2003, a usinagem a seco apresenta vantagens tais como ser uma produção limpa, sem geração de resíduos, e, em alguns casos, mais precisão na usinagem. Além disso, os problemas causados pela exposição dos trabalhadores aos fluidos de corte são eliminados e a reciclagem é mais simples por que os cavacos gerados não apresentam óleo residual e podem ser misturados com outras sucatas de metal (IOWA WASTE REDUCTION CENTER, 2003).

Entretanto, de acordo com o manual elaborado pelo Iowa Waste Reduction Center, 2003, a usinagem a seco exige um alto investimento de capital em máquinas e ferramentas específicas para este tipo de operação, além disso, devido às condições mais severas de trabalho necessitam de reposição mais freqüente. Porém, se os custos verdadeiros do gerenciamento dos fluidos de corte forem considerados na decisão final, é possível que a usinagem a seco seja competitiva.

De acordo com Teixeira et al. (1997), a usinagem a seco se apresenta como a melhor alternativa para resolver os problemas causados pelos fluidos de corte, porém a usinagem a seco não consiste em simplesmente interromper a alimentação de fluido de corte de um determinado processo, mas sim exige uma adaptação compatível de todos os fatores influentes neste processo, figura (Klocke et al., 1996). Na usinagem a seco não se verificam as funções primárias dos fluidos de corte, ou seja, refrigeração, lubrificação e transporte de cavacos, sendo que, a usinagem a

seco exige a introdução de medidas adequadas que possam compensar a falta das funções primárias do fluido de corte.

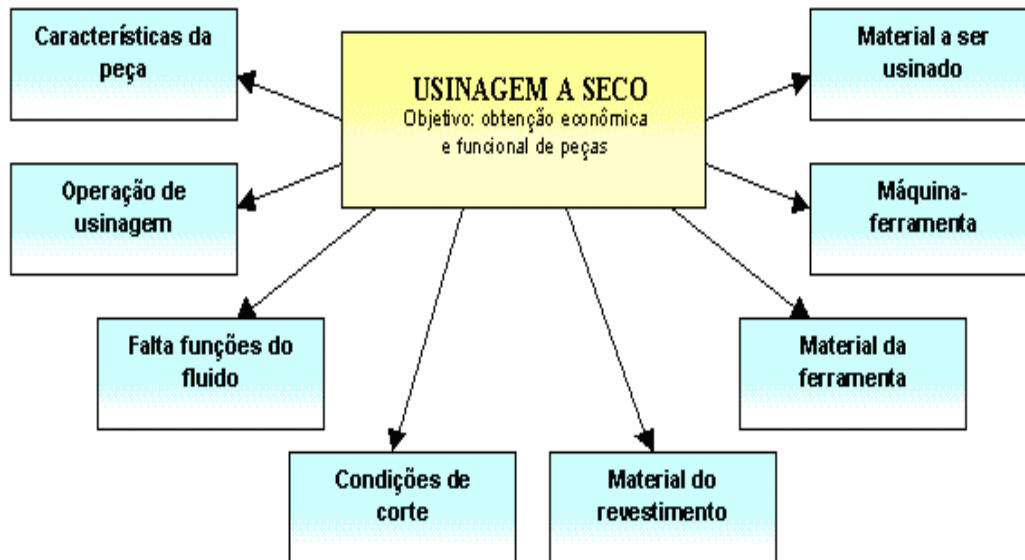


Figura 25 Fatores influentes na usinagem a seco (Klocke et al., 1996)

As restrições a usinagem a seco podem ser as exigências de qualidade da peça, mas também podem resultar através de determinados materiais (peça-ferramenta) e/ou combinações de processos. Percebe-se através da atual situação da usinagem a seco, que muitos processos não são possíveis de serem realizados devido à atual concepção e desenvolvimento em que se encontram as ferramentas (Klocke et al., 1996 apud Teixeira et al., 1997).



Figura 26 - Fresamento a seco (SUPERTEC Usinagem Técnica Industrial apud CNTL, 2006).

- Mínima quantidade de lubrificante (MQL)

De acordo com Suda (2002), em princípio as operações a seco deveriam ser a melhor solução para os problemas ambientais que envolvem os processos de usinagem de metais, entretanto, algumas vezes, essas operações não são tão efetivas quando a alta eficiência de usinagem, ao melhor acabamento superficial e as severas condições de corte são requeridas, sendo que, para essas situações, operações utilizando quantidades muito pequenas de fluidos de corte, tais como, os sistemas de mínima quantidade de lubrificação (MQL), representam um significativo papel em uma série de aplicações práticas.

Segundo Heisel et al. (1998 apud Catai, 2004), a MQL é um elo entre a usinagem a seco e aplicação convencional, sendo que, na aplicação convencional do fluido de corte há uma inundação intensa da superfície usinada, enquanto que nos sistemas em que se empregam a MQL o fluido é colocado em contato apenas com a área de corte definida entre ferramenta-peça-cavaco, sendo que, o sistema de MQL é constituído de aspersão de óleo (fluido de corte) e ar comprimido na região de corte, e geralmente o primeiro faz a lubrificação e o segundo a refrigeração do processo de corte. A seguir são apresentadas algumas vantagens em relação à utilização dos sistemas de MQL frente à aplicação de fluidos de corte de forma convencional:

Em relação ao volume da peça usinada, a quantidade de fluido utilizada na MQL é muitas vezes menor do que na lubri-refrigeração convencional; os fluidos de corte não consumidos aumentam a necessidade de manutenção e problemas de despejo; materiais de filtragem e reciclagem de manutenção dos lubrificantes podem ser evitados; as peças que passam por este processo de usinagem ficam quase secas, sendo que desta forma, uma operação de lavagem é quase desnecessária; devido ao baixo conteúdo de óleo restante no cavaco, a sua recuperação não é justificável; uma grande vantagem é que a aplicação de biocidas e preservativos pode ser eliminada, pois apenas a quantidade de fluido de corte que será utilizada em um turno de trabalho deverá ser colocada no reservatório do sistema (HEISEL ET AL., 1998, apud CATAI, 2004).

Silva et al. (2005), reportam a experiência e os resultados de um estudo sobre o modo de ação da técnica de MQL sob diferentes condições de lubrificação e resfriamento na retificação cilíndrica externa de mergulho do aço ABNT 4340 temperado e revenido comparado-a à aplicação convencional, utilizando-se como

ferramentas de corte um rebolo convencional de óxido de alumínio (Al_2O_3) e um rebolo superabrasivo de CBN. Segundo os autores, umas séries de teste preliminares foram realizadas para determinar o melhor lubrificante e a melhor taxa de fluxo de ar para a realização da experiência. Conforme relato expresso na conclusão dos autores, as análises dos vários resultados obtidos indicaram que a técnica de MQL pode ser aplicada eficientemente em processos de retificação promovendo ganhos ambientalmente amigáveis e tecnologicamente relevantes, uma vez que, os valores da rugosidade e do desgaste diametral do rebolo tiveram uma redução substancial comprovando a excelente propriedade de lubrificação desta técnica. Dentre outras vantagens apresentadas neste estudo e que comprovaram a eficiência da aplicação do processo de MQL (SILVA et al., 2004).

6.2.2 Segundo R – REUSAR – Reciclagem interna

Reutilizar ou reusar consiste no reaproveitamento antes do descarte ou da reciclagem fora do processo, ou seja, reusar refere-se a reciclar, no processo, materiais, que conservam suas propriedades ou características originais mesmo após terem sido usados, para usos idênticos ou semelhantes como é o caso das embalagens retornáveis.

No caso dos fluidos de corte, independentemente de todo o esforço empregado para prolongar a vida útil do fluido de corte, a qualidade do fluido chegará a um ponto no qual a rotina de manutenção não será mais efetiva, sendo que, neste estágio o fluido necessitará ser reciclado para separar e eliminar os contaminantes e poder ser reutilizado ou descartado (IOWA WASTE REDUCTION CENTER, 2003).

De acordo com o manual do Iowa Waste Reduction Center (2003), a chave para uma reciclagem efetiva é saber quando reciclar, uma vez que o fluido de corte deverá ser reciclado antes de tornar-se significativamente degradado, sendo que com excessiva contagem de bactérias ou concentração de óleo de lubrificação da máquina não mais poderá ser recuperado e por isso mesmo o monitoramento da atividade microbológica, concentração, pH e nível de contaminantes são aspectos críticos no gerenciamento dos fluidos de corte.

De acordo com El Baradie (1996), o conceito de usinagem limpa requer um processo de usinagem que utilize uma quantidade mínima e/ou o uso de fluidos de corte ambientalmente amigáveis, sendo que, com este foco publicou um trabalho

sobre tecnologias de usinagem limpa que abrange a manutenção, reciclagem e descarte dos fluidos de corte.

Para El Baradie (1996), a reciclagem dos fluidos de corte pode resolver os problemas com o descarte dos resíduos, reduzir custos e livrar da preocupação com problemas de poluição, sendo que, o autor propõe um sistema de reciclagem fechado que possui elementos para remoção dos cavacos e limalhas, promover a limpeza do fluido, puxar, armazenar e bombear o fluido para dentro e fora da máquina de usinagem, além disso, o sistema de reciclagem pode ser usado para máquinas separadas ou em um sistema central.

O prolongamento da vida do fluido de corte e a minimização e /ou redução dos seus resíduos depende dos sistemas de reciclagem, do descarte, do tratamento dos resíduos e de sua disposição final (QUEIROZ, 2001).

A vida útil dos fluidos de corte pode ser prolongada eliminando-se seus contaminantes e reciclando o fluido clarificado, o que pode ser feito durante a operação ou por lotes, individualizado por máquina ou utilizando um sistema centralizado (IAMS & WRTT, 2003).

Segundo Runge & Duarte (1989) e *Iowa Waste Reduction Center* (2003), há uma grande variedade de tipos de equipamentos de reciclagem para remoção de partículas, clarificação e purificação dos fluidos de corte, sendo que, a escolha do equipamento de reciclagem dependerá da necessidade e objetivos da operação e dos recursos financeiros disponíveis.

6.2.3 Terceiro R – RECICLAR - reciclagem externa ou reciclagem fora do processo

Reciclar fora do processo ou reciclagem é a forma de reaproveitar os resíduos gerados ou parte destes, no mesmo ou em outro processo produtivo, isto é, reciclar envolve reprocessar alguns produtos ou substâncias para reaproveitamento externo ou interno, isto é,

A reciclagem é a transformação dos resíduos em novas matérias-primas, envolvendo a coleta de resíduos, processamento e comercialização. A reciclagem reduz a necessidade de espaços destinados aos lixos domésticos e industriais, e o seu processamento geralmente exige menos insumos, comparativamente ao processamento para obtenção de materiais originais (BARBIERE, 2005).

O (terceiro) 3º R se aplica aos óleos integrais ao fim de sua vida útil e, de acordo com Runge & Duarte (1990), poderão ser vendidos para rerrefinação ou ser regenerados pelo próprio usuário, pelo fabricante do fluido ou por uma companhia especializada.

Os fluidos de usinagem integrais, quando mantidos livres de contaminantes, podem ser utilizados por longo período de tempo, entretanto, o acúmulo de contaminação provoca a deterioração dos aditivos e das propriedades dos fluidos integrais, contribuindo para abreviar a vida útil, sendo assim, nas reciclagens desses fluidos retiram-se os contaminantes e substituem-se os aditivos que se degradaram e então o fluido recuperado pode voltar a ser utilizado e quando não for mais viável a reciclagem ou a reutilização, o fluido deverá ser enviado para rerrefino (CNTL, 2006).

Os óleos usados de base mineral não são biodegradáveis e podem ocasionar sérios problemas ambientais quando não adequadamente dispostos, sendo que, a poluição gerada pelo descarte de 1 t/dia de óleo usado para o solo ou cursos d'água equivale ao esgoto doméstico de 40 mil habitantes e a queima indiscriminada do óleo lubrificante usado, sem tratamento prévio de desmetalização, gera emissões significativas de óxidos metálicos, além de outros gases tóxicos, como a dioxina e óxidos de enxofre (REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL).

6.3 O princípio dos 3Rs e a P+L na utilização dos fluídos de corte

A CETESB dissemina e incentiva a adoção de medidas de Produção mais Limpa nas indústrias do Estado de São Paulo

Esta pesquisa identificou algumas medidas pró-ativas no que diz respeito à utilização dos fluídos de corte pela indústria mecânica no Brasil, associadas ao conceito de produção mais limpa com foco no princípio dos 3Rs. Os casos que foram publicados pela CETESB e tratam justamente do assunto objeto deste trabalho, isto é, a questão dos aspectos ambientais dos fluidos de corte utilizados nos processo de usinagem e as possibilidades de minimização dos impactos dos mesmos sobre o meio ambiente, pela adoção de um modelo de gestão baseado no princípio dos 3Rs (Reduzir, Reusar e Reciclar). Estes casos de sucesso são relatos de empresas do Estado de São Paulo que adotaram esta postura pró-ativa por entenderem que a poluição nada mais é do que a matéria-prima que foi adquirida e passou pelo processo produtivo consumindo energia e mão-de-obra, e não agregou valor como produto, tendo então que ser descartada de modo adequado, com custos de tratamento, transporte e disposição final.

6.4 P+L CASO DE SUCESSO: Reuso de óleos e emulsões na indústria mecânica

Relato apresentado, em julho de 2002, por uma indústria mecânica de grande porte, localizada no Vale do Paraíba, com atuação no mercado internacional e produção média anual de 192.000 motores, 216.000 transmissões e 860.000 componentes de chassis. Segundo a empresa, a oportunidade foi identificada nos processos de usinagem de peças metálicas na fabricação de motores, transmissões e componentes de chassis que geravam um total médio de 375 t/mês de cavacos metálicos, provenientes dos diferentes tipos de processos e impregnados com diferentes tipos de óleos e emulsões oleosas de corte, os quais eram depositados em 03 caçambas móveis, para separação do óleo/emulsões pelo processo de decantação, gerando um volume decantado na ordem de 35,2 t/mês. Os óleos/emulsões decantados eram drenados e conduzidos para um canaleta impermeabilizado interligado à rede coletora de efluentes industriais e, por gravidade, seguiam para a ETE – estação de Tratamento de Efluentes. Uma vez identificada a oportunidade as seguintes medidas foram tomadas pela empresa:

reavaliação dos tipos de óleos/emulsões de corte utilizados em cada etapa do processo e separação dos mesmos em oito famílias de óleos. A partir daí implantou-se uma coleta seletiva dos cavacos metálicos impregnados com óleos/emulsões coletados em 08 caçambas móveis, sendo que 05 delas foram cedidas pela empresa coletora de cavacos em regime de parceria. Também foi necessário construir sete novos mini-tanques em alvenaria, com capacidade de 250 litros cada, impermeabilizados e revestidos com chapa metálica de aço para receber as oito famílias de óleos/emulsões, decantadas nas caçambas móveis, para que pudessem ser separados, bombeados e armazenados em contêineres e analisados quanto às características e propriedades físico-química para verificação e eventual ajuste das condições técnicas. A partir desta determinação os óleos/ emulsões são reutilizados no processo de corte de que foram originário ou encaminhado para outros equipamentos dentro da empresa, cujas operações permitissem o uso de óleo/emulsões de corte com características menos exigentes. Caso não apresentassem condição de uso, eram enviados para a ETE. Consta no relato que a implantação das medidas, no que se refere às obras civis, treinamento de pessoal e estabelecimento de logística com a empresa que faz remoção dos cavacos, ocorreu ao longo dos meses de fevereiro, março e abril de 2002, entrando em regime de operação em maio/2002 e totalizando um investimento de R\$10.000,00 com previsão de retorno de 01 mês. Os resultados obtidos indicaram: redução na compra de óleo para corte na ordem de 1.400 litros/mês, representando uma economia de aproximadamente R\$ 11.000,00/mês; redução média de 1% no consumo de água da unidade industrial, representando 20.000 litros água/mês e uma economia de cerca de R\$ 78,00/mês; redução de 88% da quantidade de óleo enviada para a ETE, com redução de 3% do volume geral de efluentes líquidos a serem tratados, gerando uma economia de 3% no consumo de produtos químicos utilizados na ETE, ou seja, R\$ 120,00/mês. No relato deste caso consta ainda como ações futuras que a empresa pretendia em médio prazo instalar uma estação de secagem de cavacos e de regeneração de óleos de corte para seu melhor aproveitamento.

Consta, ainda, no referido endereço eletrônico da CETESB, um outro caso de sucesso de gerenciamento ambiental de fluidos de corte, sendo este da divisão de transmissões de uma indústria metalúrgica da região de Campinas, referente a trabalhos realizados em outubro de 2003 com Reciclagem de óleos de corte, hidráulicos e lubrificantes.

6.5 Identificando os 3Rs como base para a P+L na utilização dos fluidos de corte em processos de usinagem

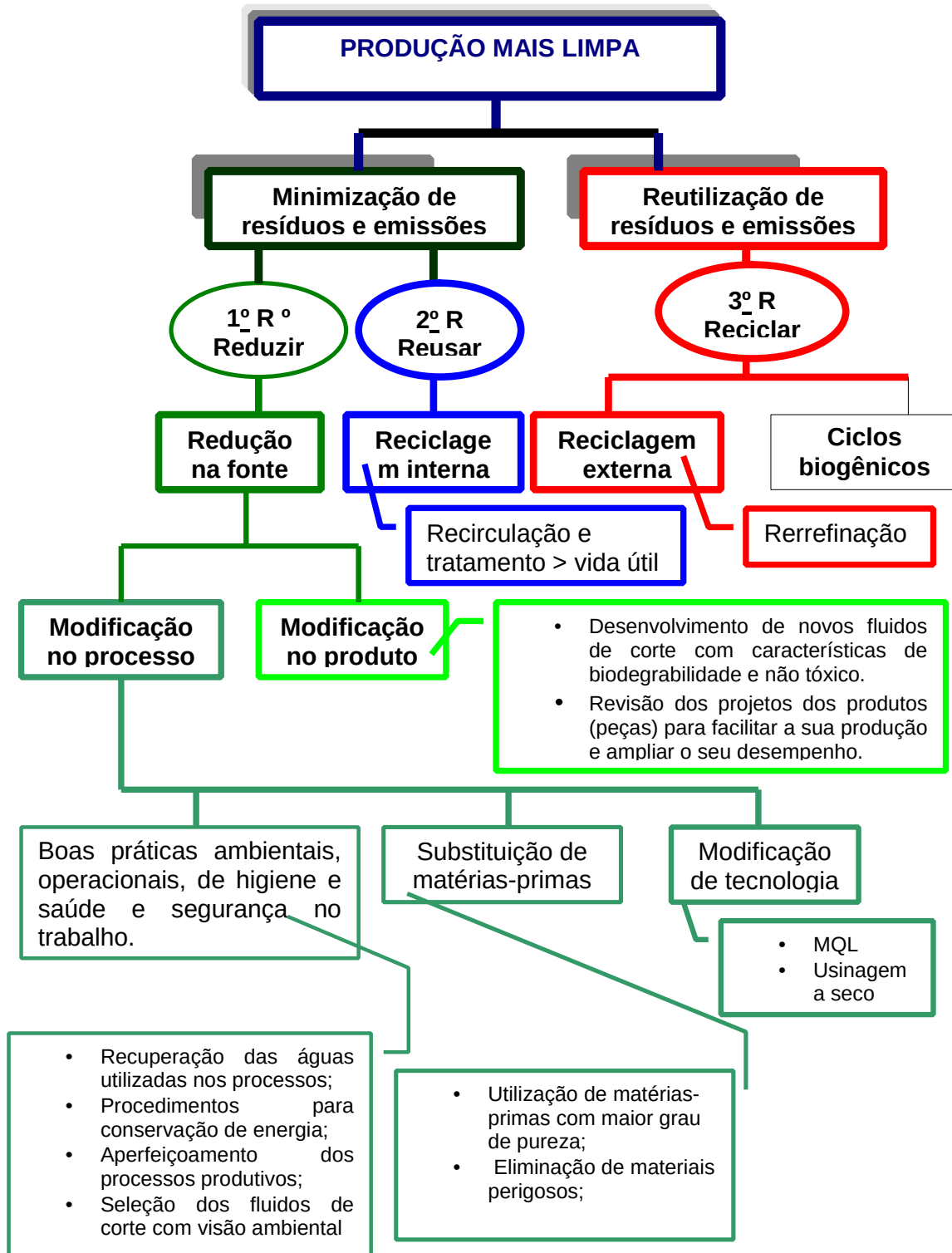


Figura 27 "– Identificação de oportunidades de PmaisL.- adaptada (CNTL, 2003)

A figura 27 representa, segundo o CNTL (2003), os passos para identificação de oportunidades para implementação de um programa de P+L, sendo que, esta figura foi adaptada para identificar os 3Rs como base para a P+L em empresas que utilizam fluidos de corte em seus processos de usinagem, conforme destacado nos balões explicativos que indicam algumas ações representando cada um dos 3Rs.

De acordo com Gonçalves, Bianchi e Aguiar (2007), muitos dos aspectos dos problemas ambientais associados aos fluidos de corte podem ser evitados ou controlados durante a sua seleção, aplicação e descarte, assim como, por meio do desenvolvimento de novos fluidos e métodos de lubrificação e refrigeração menos agressivos ao meio ambiente, além de investimento em treinamento e capacitação, das pessoas envolvidas nos processos de usinagem, voltados para a formação de uma nova cultura na indústria metal-mecânica.

7 CONCLUSÕES

Este estudo permitiu identificar, na literatura, evidências de que existe reação por parte de segmentos interessados em processos de usinagem, no sentido de buscar alternativas para a adequação dos requisitos técnicos de aplicação dos fluidos de corte ao atendimento das rigorosas exigências da legislação ambiental em processos de usinagem.

Este estudo proporcionou, também, constatar evidências de atitudes pró-ativas de pesquisadores no sentido do desenvolvimento de novas tecnologias e produtos menos poluentes, assim como, dos representantes de setores das indústrias na elaboração de manuais e guias de utilização de fluidos de corte com ênfase na manutenção, no combate ao desperdício, no prolongamento da vida útil, melhor desempenho e na divulgação de modelos de gestão ambiental que incentivam e privilegiam soluções técnicas ambientalmente menos agressivas.

A elaboração deste estudo também confirma a percepção de que a adoção, pela indústria mecânica, de um gerenciamento voltado para as boas práticas ambientais e fundamentado na aplicação do princípio dos 3Rs, é capaz de minimizar os impactos negativos que podem ser provocados pelo descaso e/ou pela utilização pouco eficiente dos fluidos de corte e dos recursos naturais, descaso este que podem levar a vida no planeta a uma situação insustentável e ter como resultado a extinção de espécies da fauna e da flora, a degradação de ambientes naturais, a contaminação do solo e das águas, bem como vários problemas para a saúde humana.

Entretanto mesmo considerando todas as pesquisas, desenvolvimentos e esforços empregados para redução do consumo de fluidos de corte, ainda assim, é necessário mais investimento e pesquisas, assim como, conscientizar e incentivar medidas pró-ativas no sentido de implementação efetiva de boas práticas ambientais, desde as grandes empresas até as pequenas oficinas, para assegurar que a produção dos bens que necessitam de processos de usinagem seja realizada com qualidade, respeito ao meio ambiente, à segurança e à saúde do trabalhador.

A leitura deste estudo contribui para informar e conscientizar a respeito dos impactos ambientais que podem ser gerados pelo uso indevido de fluido de corte e suas conseqüências legais.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando que este trabalho confirma a percepção de que a adoção, pela indústria mecânica, de um gerenciamento voltado para as boas práticas ambientais e fundamentado na aplicação do princípio dos 3Rs, é capaz de minimizar os impactos negativos que podem ser provocados pelo descaso e/ou pela utilização pouco eficiente dos fluidos de corte e dos recursos naturais; o objetivo para o próximo trabalho seria verificar, utilizando o método de pesquisa *survey* seguido de estudo de casos, se empresas do Município de Bauru e/ou Região, que trabalham com processos de fabricação e utilizam fluidos de corte em seus processos de usinagem, adotam boas práticas ambientais fundamentadas no princípio dos 3Rs.

O passo seguinte seria propor um modelo de gestão e/ou gerenciamento dos fluidos de corte fundamentado na aplicação do princípio dos 3Rs como base para a implementação da P + L.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. C. S. “**Análise da influência da velocidade de mergulho na retificação de aços endurecidos utilizando refrigeração otimizada**”. 2005. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)- Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.

ALVES, S.M., OLIVIERA J.F.G. “**Development of new cutting fluid for grinding process adjusting mechanical performance and environmental impact**”. Journal of Material Processing Technology. São Paulo, 2006.

AGENDA 21, Cap. 34, item 34.1, “**Transferência de tecnologia ambientalmente saudável, cooperação e fortalecimento institucional**”. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 20 fev. 2007.

ATTANASIO, A. et al. “**Minimal quantity lubrication in turning: Effect on tool wear**”. Wear. Elsevier B. V. Italy, Abr 2005.

BARBIERE, J. C. “**Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**”. 7ª. ed. rev. e atual. Petrópolis, RJ: Vozes, 2005.

BIERMANN, M. J. E., “**Gestão de fluidos de usinagem**”. Apresentação em curso fluidos de usinagem do CNTL do SENAI, realizado em Porto Alegre e Caxias do Sul, 2006.

Disponível em:

<http://srvprod.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/Fluido_de_usinagem.pdf>

Acesso em: 19 fev. 2007

BAURU. Lei n.4362 de 12 de janeiro de 1.999. “Disciplina o Código Ambiental do Município e dá outras providências”. Disponível em: <<http://www.bauru.sp.gov.br>>. Acesso em 05 out 2008.

BAURU. Decreto n. 8636, de 2 de dezembro de 1999. “Regulamenta a Lei nº 4362, de 12 de janeiro de 1999 e o anexo I, que dispõe sobre o Código Ambiental do Município de Bauru”. Disponível em: <<http://www.bauru.sp.gov.br>>. Acesso em 05 out 2008.

AXINTE D; AXINTE M; TANNOCK J D T. “**A multicriteria model for cutting fluid evaluation**”. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers; 217, 10; ProQuest Science Journals pg. 1341. U.K. 2003.

BARTZ, W.J. “**Ecological and environmental aspects of cutting fluids**”. Lubrication Engineering; 57,3; Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers; ProQuest Science Journals pg.13, Mar 2001.

BATALLER, H. ET AL. “**Cutting fluid emulsions produced by dilution of a cutting fluid concentrate containing a cationic /nonionic surfactant mixture**”. Journal of Materials Processing Technology 152, 215-220. Pau, França. 2004.

BAYNES R.E.ET AL.. “**Pre-treatment effects of trichloroethylene on the dermal absorption of the biocide, triazine**”. Toxicology Letters. USA. 2005.

BELL, D. D. ET AL. “**Modeling of the environmental effect of cutting fluid**”. Tribology Transactions; ProQuest Science Journals 42, 1; pg. 168. Geórgia, Jan 1999.

BELKACEM, M. ET AL.. “**New results in metal working wastewater treatment using membrane technology**”. Journal of Membrane Science 106, 195-205. France,1995.

BERMANN, C. “**Energia no Brasil: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável**”. São Paulo: Editora livraria da Física: FASE, 2001.

BIENKOWSKI, K. *"Coolants & Lubricants - Staying Pure,"* Manufacturing Engineering, 55-61. Apr, 1993.

BRAGA, Benedito et al. *"Introdução À Engenharia Ambiental"*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Lei n. 6.803, de 2 de JULHO de 1980. "Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências". **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, julho de 1980. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6803.htm> . Acesso em: 8 Abr. 2007.

BRASIL. Lei n. 6938 de 31 de agosto de 1981 - "Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências". **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 02 de setembro de 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>. Acesso em: 8 Abr. 2007.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: "Capítulo VI do Meio Ambiente – Art.225 da constituição Federal do Brasil de 1988".Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=308>>. Acesso em: 8 Abr. 2007.

BRASIL. Decreto n. 99274 de 06 de junho de 1990 - "Regulamenta a Lei nº. 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências". **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 07 jun.1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=328>> Acesso em: 8 Abr. 2007.

BRASIL. Decreto n.875 de 19 de julho de 1993 – "Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito". **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 20 jul.1993. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto/D0875.htm> Acesso em: 04 Out. 2008.

BRASIL. Lei n. 9433 de 08 de janeiro de 1997 - *"Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº. 7.990, de 28 de dezembro de 1989"*.- **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 09 jan.1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>> . Acesso em: 8 Abr. 2007.

BRASIL. Lei n. 9605 de 12 de fevereiro de 1998 - Lei dos Crimes Ambientais - "Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências" – **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 17 fev.1998. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=320>> . Acesso em: 8 Abr. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 003/1990 - "Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR" – **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 22 ago 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>> Acesso em: 5 out. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 023/1996 - "Regulamenta a importação e uso de resíduos perigosos e dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos perigosos e seu Depósito. **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF de 20/01/1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=222>>. Acesso em: 5 out. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 237/1997 - "Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente" - **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, de 22 dez.1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>. Acesso em: 5 out. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 306, de 5 de julho de 2002. "Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais" - **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, DF, 19 jul. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=306>> . Acesso em: 8 Abr. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n.357/2005 - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências." - **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 18 mar.2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 5 out. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n.362/2005 - "Dispõe sobre o rerrefino de óleo lubrificante e revoga a Resolução n. 9/93".- **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 27 jun. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>> Acesso em: 5 out. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 382/2006 - "Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas" - **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 02 jan.2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>> Acesso em: 5 out. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 397/2008 - "Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5o, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n. 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes".- **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 07 abr. 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=563>> Acesso em: 5 out. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Executiva. **"Gestão ambiental no Brasil um compromisso com o desenvolvimento sustentável"**. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 19 fev. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **"A Carta da Terra"**. Disponível em – <http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/carta_terra.pdf> Acesso em: 8 Abr. 2007

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente: **"A Agenda 21"**. Disponível em – <http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos>. Acesso em: 8 de Abr.2007

BRASIL. Ministério dos Transportes. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução n. 420, "Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos". **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 12 fev. 2004. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/legislacao/PPerigosos/Nacional/PortMT204-97/index.htm> Acesso em: 06 jul. 2006

BRASIL. Portaria interministerial n. 464 de 29 de agosto de 2007. "Estabelecer diretrizes para recolhimento, coleta e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado". **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil: Poder Legislativo, Brasília, DF, 30 ago. 2007. Disponível em: http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=2092 Acesso em: 06 jul 2008

BURKE, J.M. **"Waste treatment of metalworking fluids, a comparison of three common methods"**. Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers. OHIO. 1991

CAPELLETTI, R. V. **"Avaliação da atividade de biocidas em biofilmes formados a partir de fluido de corte utilizado na usinagem de metais"** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química. Universidade de Campinas. Campinas, 2006. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000392545> Acesso em: 26 jun 2008

CAJAZEIRA, J; BARBIERI, J. **"A nova norma ISO 14.001: Atendendo à demanda das partes interessadas"**. Escola de Administração de Empresas de São Paulo (FGV/EAESP), São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/artigos.php>. e www.cempre.org.br/download/clipping/anpadbarbieriecajazeira.doc. Acesso em: nov. 2006.

CATAI, R. E. **"Otimização das condições de refrigeração/lubrificação no processo de retificação cilíndrica de mergulho"**. 2004. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2004.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA LIMPA (CNTL/SENAI/RS). **"Projeto programa piloto para a minimização dos Impactos gerados por resíduos perigosos. Documento 3 – Gestão de resíduos fluidos de usinagem"**. Disponível em: <http://www.rs.senai.br/cntl/sobrecntl> - Acesso em: 15 nov. 2006.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA LIMPA (CNTL/SENAI/RS). **"Resíduos Perigosos"**. Informativo CNTL/SENAI. Ano 7, nº 53. Junho/julho, 2008. Disponível em: http://srvprod.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/Info53jun-jul08.pdf - Acesso em: 20 set. 2008.

COELHO, R. S. **"Avaliação da toxicidade de fluidos de usinagem através da ecotoxicologia aquática"**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-13122006-152729> Acesso em: 05 out 2008

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL CETESB. **"Manual para implementação de um programa de prevenção à Poluição"**. CETESB. - 4. ed.- São Paulo CETESB, 2002. 16 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em: 19 fev 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL CETESB. **"Histórico"**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/historico.asp> - Acesso em: out. 2008.

ROCCA, A C. C. et al. **"Resíduos sólidos industriais"**. 2. ed. vev. Ampl. São Paulo. CETESB, 1993. 233 p.

CHEN L., et al. **“Characteristics and treatability of oil-bearing wastes from aluminum alloy machining operations”**. *Journal of Hazardous Materials*. 2007.

CHAKRABORTY, P., ASFOUR, S., CHO, S., ONARB, A. , LYNN, M., **Modeling tool wear progression by using mixed effects modeling technique when end-milling AISI 4340 steel”**. *Journal of materials processing technology* 205, 190–202. USA. 2008.

CHOI, A.C.K et al. *Journal of Materials Processing Technology* 70 (1997) 231-238. Hong Kong. 1996.

CUTTING FLUID MANAGEMENT: SMALL OPERATION HANDBOOK. 3rd Edition. Iowa Waste Reduction Center. University of Northern Iowa. 2003. Disponível em <<http://www.iwrc.org/pubs/cuttingFluid03.pdf>> Acesso em 28 Jul. 2006.

DANDOLINI, D.L. **“Entrevista sobre gestão ambiental de fluido de corte em empresas”**. Disponível em:< <http://www.cimm.com.br>> Acesso em: 31 out. 2007

DE CHIFFRE, L; BELLUCO, W. **“Investigations of cutting fluid performance using different machining operations”**. *Lubrication Engineering*; Oct 2002; 58, 10; ProQuest Science Journals pg. 22

DICIONÁRIO DE ECOLOGIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS. – São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1998.

DAROIT, D., **“Melhores Práticas Ambientais Em Empresas Do Rio Grande Do Sul”**. Dissertação (Mestrado em Administração). Escola de Administração - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em:< <http://www.marta.tocchetto.com>> . Acesso em: 31 jul. 2006.

DIAS, R. **“Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade”**. 1ª ed. 2006; 3ª reimpressão – São Paulo: Atlas, 2008.

EISENTRAEGER, A , SCHMIDT, M., MURRENHOFF H., DOTT, W., HAHN, S. **“Biodegradability testing of synthetic ester lubricants—effects of additives and usage”**. *Chemosphere* 48, 89–96. Germany. 2002

EL BARADIE, M. A. **“Cutting fluids: Part I - Characterization”**. *Journal of Material Processing Technology* 56, 786-797. Dublin, 1996.

EL BARADIE, M. A. **“Cutting fluids: Part II - Recycling and clean machining”**. *Journal of Material Processing Technology* 56, 798-806. Dublin, 1996.

EPPERT, J. J., GUNTER K. L., SUTHERLAND, J.W. **“Development of a cutting fluid classification system using cluster analysis”**. *Tribology Transactions*; 44, 3; ProQuest Science Journals pg. 375. Michigan, Jul 2001.

FEDERAÇÃO E CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - Fiesp/Ciesp. **“Micro e Pequenas Empresas no Estado de São Paulo e a Legislação Ambiental”**. 2008. Disponível em: http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/cartilha_licenciamento.pdf Acesso em: 27 set. 2008.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN, **“Manual de Gerenciamento de Resíduos: Guia de procedimento passo a passo”**. Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: www.sebraerj.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload Acesso em: 24 jun. 2007.

FERNANDES, D., **“Relatório da ONU culpa homem por aquecimento global”** Paris, 2007. Disponível em <http://www.bbcbrasil.com>. Acesso: 4 fev. 2007.

TEIXEIRA FILHO, F. **“A utilização de fluido de corte no fresamento do aço inoxidável 15-5PH”**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, 2006. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000386147> Acesso em: 26 jun. 2006.

FUSSE, R.Y., BIANCHI, E. C., AGUIAR, P. R. **“Estudo comparativo entre a lubri-refrigeração convencional e a MQL no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho”**, UNESP-BAURU-2005.

GASI, T.M.T. **“III workshop adequação ambiental em manufatura - a mesa redonda paulista de produção +limpa”** - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 2002. Disponível em: <http://www.numa.org.br/download/IIIworkshoppalestras/taniaCETESB.pdf> Acesso em: 15 jul. 2007.

GONÇALVES, P. S. C., BIANCHI, E. C., AGUIAR, P. R. “Reduzir, reusar, reciclar: o princípio dos 3Rs em processos de usinagem”. Revista Máquinas e Metais, Ano XLIII nº 493 - fevereiro, 2007, p122-133.

GREELEY, M., RAJAGOPALAN, N. **“Impact of environmental contaminants on machining properties of metalworking fluids”**. Tribology International 37, 327–332. USA - 2004

GUNTER, K., SUTHERLAND, J. W. **“An experimental investigation into the effect of process conditions on the mass concentration of cutting fluid mist in turning”**. Journal of Cleaner Production 7, 341–350. USA. 1999

HOWES, T.D., TÖNSHOFF, H.K., HEUER, W. **“Environmental aspects of grinding fluids”**. Annals of CIRP Vol. 40/2/1991. Documento obtido por meio do Programa de Computação Bibliográfica COMUT.

HYDRICK, H. **“Coolant Management Concern Invites Change,”** Lubricants World, 29-34. (Maio, 1994)

HILAL, N. et al. **“The use of ultrafiltration and nanofiltration membranes in the treatment of metal-working fluids”**. Desalination 167, 227-238. 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA INDUSTRIAL – INETI. Departamento de Materiais e Tecnologias de Produção – DMTP. Guia Técnico Sectorial Sector da Metalurgia e Metalomecânica. Elaborado no âmbito do Plano Nacional De Prevenção dos Resíduos Industriais (PNAPRI). Lisboa, Novembro de 2000. Disponível em: http://www.ineti.pt/biblioteca_PT/biblioteca_frameset.aspx Acesso em: 2 OUT 2006.

INSTITUTE OF ADVANCED MANUFACTURING SCIENCES AND WASTE REDUCTION AND TECHNOLOGY TRANSFER FOUNDATION. Shop Guide to Reduce the Waste of Metalworking Fluids. A competitive advantage manual for the metal fabricating and machining Industry, IAMS & WRATT. Tennessee Valley Authority and the US Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information. Disponível em: <http://www.wratt.org/pubs/redwasteofmetalworking.pdf> Acesso em: 28 Jul. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - “Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente”. 2a edição 2004 © IBGE, - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/vocabulario.shtm> Acesso Domingo 8 Abr. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS. Disponível em: www.mma.gov.br. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/siucweb/guiadechefeglossario/> Acesso em: 20 abr. 2007.

IOWA WASTE REDUCTION CENTER. **"Cutting Fluid Management in Small Machine Shop Operations"** – First edition," (Cedar Falls, Iowa: University of Northern Iowa, 1990). Disponível em: <http://www.iwrc.org/downloads/pdf/cuttingFluid03.pdf> Acesso em: 20 abr. 2007.

IGNÁCIO, E. A. **"Caracterização da legislação ambiental voltada para a utilização de fluidos de corte na indústria metal-mecânica"**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Faculdade de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/ignacio> Acesso: 26 dez 2005.

JARRARD, A. **"Metalworking Fluids Management Programs,"** Modern Machine Shop (June, 1993), 81-84.

JOHN J. ET AL., **"Emulsions containing vegetable oils for cutting fluid application"**. Colloids and Surfaces A: Physicochemical. Eng. Aspects 237 (2004) 141–150. USA, 2003.

KABELSCHLEPP DO BRASIL. **"Fornecedor de Sistemas de Filtragem"**. Disponível em: <http://www.kabelschlepp.com.br> Acesso em: 21 abril 2008.

KLEBER, M., FÖLLMANN, W., BLASZKEWICZ, M. **"Assessing the genotoxicity of industrial cutting fluids under conditions of use"**. Toxicology Letters 151, 211–217. Germany. 2004

KOBYA, M., ET AL. **"Study on the treatment of waste metal cutting fluids using electrocoagulation"**, Separation and Purification Technology. Turkey, 2007.

KOELSCH, J.R. **"Honing Fluid Performance"**. Manufacturing Engineering 51-55. 1994

LAVORATO, M. L.A., **"Benchmarking ambiental brasileiro e a importância dos indicadores de desempenho ambiental para a competitividade das empresas e iniciativas ambientais"**. Disponível em: http://www.maisprojetos.com.br/bench/artigos/benchmarking_ambiental.pdf, Acesso em: 29 dez 2005.

LINNAINMAA M. ET AL; **"Control of workers' exposure to airborne endotoxins and formaldehyde during the use of metalworking fluids"**. AIHA Journal 64, 4; ABI/INFORM Global pg. 496. Jul/Aug 2003

LIU, J., HAN, R., SUN Y. **"Research on experiments and action mechanism with water vapor as coolant and lubricant in Green cutting"**. International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, 687–694. China, 2005.

LOVELOCK, J. **"A vingança de Gaia"**. Folha de São Paulo, São Paulo, 22 Jan 2006. Disponível na Internet. Acesso em 20 fev. 07

LUKAS, J. **"Fluids Getting More Attention from Management,"** Lubricants World (July, 1994), 26.

MARTINEZ, P.H. **"História ambiental no Brasil: pesquisa e ensino"**. São Paulo: Cortez, 2006.

MONICI, R. D. **"Análise da Mínima Quantidade de Refrigeração e da Refrigeração Convencional na Retificação de Aços Endurecidos"**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Faculdade de Engenharia – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2002.

MOTTA, M. F., MACHADO, A. R. **"Fluidos de corte: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção"**. Revista Máquinas e Metais, setembro, 1995, p44-56.

NASH J. F., et al. **"A toxicological review of topical exposure to white mineral oils"**. Fd Chem. Toxic.. Vol 34, Nº 2, pp. 213-225, 1996. Great Britain.

OLIVEIRA, C. H. S. **"Entrevista: Sistema de Gestão Ambiental"**. Publicado dia: 06/09/2007. Disponível em: <http://www.cimm.com.br> Acesso em: 31 out. 07

OLIVEIRA, J. F. G., ALVES, S. M. **"Novos fluidos de corte adequados ao desempenho mecânico da retificadora e ao meio ambiente"**. Revista Máquinas e Metais, p28-43 jan. 2006. Disponível em: <http://www.notox.com.br/pdf/artigo_salete.pdf> Acesso em: 28 set 2008.

OLIVEIRA, J. F. G. ALVES, S. M. **"Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental"**. Produção, v. 17, n. 1, p. 129-138, Jan./Abr. 2007. Disponível em: <http://en.scientificcommons.org/salete_martins_alves> Acesso em: 14 abr 2008.

ONU - Organização das Nações Unidas. "World Population Prospects: The 2004 Revision". Disponível em: <http://www.un.org/esa/population/publications/WPP2004/World_Population_2004_chart.pdf> Acesso em: 19 Dez. 2006.

QUEIROZ, J. L. L. **"Desenvolvimento de um protótipo de software para controle da variável ambiental na utilização do fluido de corte"**. 2001. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/1940.pdf>> Acesso em: 26 dez 2005.

QUEIROZ, J. L. L., Boehs, L.; Sant'ana, F.; 1999. **"Proposta para aprimorar o manejo dos fluidos de corte"**. Revista Máquinas e Metais, p. 250-255, abril.

RAVEN, P. "Conhecer para preservar". Boletim da Agência FAPESP. Disponível em: <<http://www.agencia.fapesp.br>>. Acesso em: 28 jul. 2006.

REDDY, N.S.K., RAO, P.V. **"Experimental investigation to study the effect of solid lubricants on cutting forces and surface quality in end milling"**. International Journal of Machine Tools & Manufacture 46, 189–198. Índia, 2006

REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL, Ano VI, ed. 31, nº 30 Maio/Junho da 2001.

RIOS, M., NOVASKI, O., "Fluidos de corte: Introdução Teórica e Vantagens da Aplicação de Fluidos Sintéticos na Usinagem de Aços Ligas". Disponível em: <http://www.mmmis.com/construtordepaginas/html/1_21_1813.htm> Acesso em 29 dez 2005.

ROSA, L. P. Artigo publicado na seção opinião da Folha de São Paulo em 16/02/2007. Publicado na Internet em 27/02/2007. Disponível em: < <http://www.planeta.coppe.ufrj.br/artigo.php?artigo=836>>. Acesso em: 04 mar. 2007

ROSSMORE, H.W. e ROSSMOORE, L. A., **"Factors affecting selection of metalworking fluid biocides"**. Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers. P. 23-28, 1995.

ROSSMORE, H.W. **"Microbiology of metalworking fluids: deterioration, disease and disposal"**. Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers. P. 113-118, 1995.

ROSSMORE, H.W. **"Microbiological degradation of water-based metalworking fluids"**, In: MOO-YOUNG, M. "Comprehensive biotechnology – The principles, applications and regulations of biotechnology in industry, agriculture and medicine", Ed. Pergamon Press, Chapter 14, pp. 249-267, 1990.

RUNGE, P. R. F., DUARTE, G. N. **"Lubrificantes nas Indústrias – Produção, Manutenção e Controle"**. Triboconcept – Edições Técnicas, p. 71-171, 1990.

SACHS, I. ***“Rumo à ecossocioeconomia: teoria e prática do desenvolvimento”***. Tradução de Paulo Freire Vieira (org). São Paulo: Cortez, 2007.

SALES, W. F., DINIZ, A. E. e MACHADO, Á. R. ***“Application of cutting fluids in machining processes”***. J. Braz. Soc. Mech. Sci., 2001, vol.23, no.2, p.227-240. ISSN 0100-7386.

SÃO PAULO (Estado). “Lei nº 997, de 31 de maio de 1976 – “Dispõe sobre a instituição do sistema de prevenção e controle da poluição do meio ambiente na forma prevista nessa lei e pela Lei nº 118/73 e pelo Decreto nº 5.993/75”. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/leis_dec.asp>. Acesso em: 4 out.2008.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Regulamentação da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, com 172 artigos e anexos cujas disposições representaram um instrumento de trabalho com mecanismos ajustados para operação e controle do meio ambiente. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/leis_dec.asp>. Acesso em: 4 out.2008.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 47.397, de 4 de dezembro de 2002. Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/leis_dec.asp> Acesso em: 4 out.2008.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 47.400, de 4 de dezembro de 2002 - Regulamenta dispositivos da Lei Estadual nº 9.509, de 20 de março de 1997, referentes ao licenciamento ambiental. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/leis_dec.asp> Acesso em: 4 out. 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. “Quem somos?” Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/smaQuem.phpm>> - Acesso em: 4 out.2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. “Entendendo o meio ambiente”. Volume I, 2ª edição com alterações. São Paulo: SMA, 1997. Disponível em: <<http://www.bdt.org.br/sma/entendendo/Atual.html>>. Acesso em: 5 mai.2007.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. “Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição”. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. São Paulo: SMA, 1997. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos.asp>. Acesso em: 5 mai.2007.

SHAW, M.C. ***“Metal Cutting Principles”***. Oxford series on advanced manufacturing

SHVEDOVA, A.A. et al. ***“Enhanced oxidative stress in the skin of vitamin E deficient mice exposed to semisynthetic metal working fluids”***. Toxicology 176, 135-143. USA. 2002.

SILLIMAN, J. D. ***“Cutting and Grinding Fluids: Selection and Application”***. Society of Manufacturing Engineers. 2ª edição, p. 1-47, 129-135, 187-191, 1992.

SIMON, T.A. ***“O estágio atual da tecnologia das máquinas-ferramentas”***. Revista Máquinas e Metais, p88-108, 1999.

SOKOVIC, M; MIJANOVIC K. ***“Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes”***. Journal of Materials Processing Technology 109, 181-189. Ljubljana, Slovenia. 2001

SAUVÉ, L. **“Educação Ambiental: possibilidades e limitações”**. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 317-322, maio/ago. 2005.
Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ep/v31n2/a12v31n2.pdf>>
Acesso em: 24 fev. 2007.

SCOTTO, G., CARVALHO, I. C. M., GUIMARÃES, L.B. “Desenvolvimento Sustentável”. Petrópolis, RJ: Vozes, 2007.

SERVIÇO NACIONAL DA APRENDIZAGEM INDUSTRIAL SENAI. RS. **“Sistema de gestão ambiental e produção mais limpa”**. Porto Alegre, UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI, 2003. 43p. (Séries Manuais de Produção mais Limpa).

SERVIÇO NACIONAL DA APRENDIZAGEM INDUSTRIAL SENAI. RS. **“Projeto programa piloto para a minimização dos impactos gerados por resíduos perigosos”**. **“Documento 3 – Gestão de resíduos fluidos de usinagem”**. Porto Alegre, UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI, 2006. 42p

SHAW, Milton C. **“Metal Cutting Principles”**. Oxford series on advanced manufacturing, p. 293-331, 1984.

SHENG, P. S.; OBERWALLENEY, S.;. **“Life – cycle planning of cutting fluids – a review”**. Journal of Manufacturing Science and Engineering, v. 119, n. 4 (b), p. 791-800. 1997.

SHENG, P., SRINIVASAN, M. **“Multi-objective process planning in environmentally conscious manufacturing: a feature-based approach”**. Annals of the CIRP Vol. 44/1/ 433. USA. 1995

SILVA E. J., BIANCHI, E. C., OLIVEIRA, J.F.G., **“Uma contribuição para a determinação de procedimentos padrão para a seleção, aplicação, manutenção e descarte de diferentes tipos de fluidos de corte utilizados em retificação”**. UNESP-BAURU-2005

SILVA E. J., BIANCHI, E. C., OLIVEIRA, J.F.G., **“A review of grinding fluids – performances and management”**. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v. 8, Nº18 – p. 67-77. Dez 2001.

SILVA, E. J. **“Análise da Influência dos Tipos de Fluido de Corte e Rebolo na Retificação do Aço Sae Hvn-3”**, Tese (Mestrado em Engenharia Industrial). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2002.

SILVA, L. R., et al. **“Study on the behavior of the minimum quantity lubricant – MQL - technique under different lubricating and cooling conditions when grinding ABNT 4340 Steel”**. Journal of the Brazilian. Society. of Mechanical. Sciences. & Eng. Copyright © 2005 by ABCM April-June 2005, Vol. XXVII, No. 2 / 192-199. 2005.

STANFORD, M., LISTER, P.M. e KIBBLE, K.A. **“Investigation into the effect of cutting environment on tool life during the milling of a BS970-080A15 (En32b) low carbon steel”**. Wear 262,1496–1503. 2007.

SUDA, S., YOKOTA, H., INASAKI, I., WAKABAYASHI, T. **“A synthetic ester as an optimal cutting fluid for minimal quantity lubrication machining”**.

Tan X.C. ET AL. **“A decision-making framework model of cutting fluid selection for green manufacturing and a case study”**. Journal of Materials Processing Technology 129, 467-470. China. 2002.

TEIXEIRA, C. R., SCHROETER, R.B., WEINGAERTNER, W.L., **“Aspectos Ecológicos nos processos de Usinagem”**. Disponível em:
<http://www.cimm.com.br/cimm/construtordepaginas/htm/3_20_10.htm> Acesso em: 27 nov 2005.

SCHROETER, R. B., SOARES, S. R., TEIXEIRA, C. R., DIAS, A. M. P., GRÜTZMACHER, R. **“Aspectos Ecológicos em Processos de Usinagem”**. VIII Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de Santa Catarina, VIII SIC, Florianópolis/SC. Anais, p. 177, nov. 1998. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/cimm/construtordepaginas/htm/3_20_10.htm> Acesso em: 27 dez 2005

TEIXEIRA, C. R., Entrevista **“Usinagem Ecológica”**. Disponível em: <<http://www.cimm.com.br>> Acesso em: 31 out 07

TOCCHETTO, M.R.L. e COUTINHO, H.L., **“Curso de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais”**. Edição Revisada 2004. Disponível em: <http://www.marta.tocchetto.com/atividades/cursos/gerenciamentoderesiduosindustriais/Apostila/ger_residuos_completa.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2006

TOLBERT, P. E.; EISEN, E. A.; POTHIER, L. J.; MONSON, R. R.; HALLOCK, M. F.; SMITH, T. J.; **“Mortality studies of machining-fluid exposure in the automobile industry – II risks associated with specific fluid types”**. Scandinavian Journal Work Environment Health, v.18, p. 351-360. 1992.

TRENT, E.M., WRIGHT, P.K. **“Metal Cutting”**. 4ª ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000.

TUHOLSKI, R.J. **“Don’t forget the cutting fluid”**. Journal of Industrial Technology, 2-5. 1993.

UNEP. Disponível em: <<http://www.unep.org>>. Acesso em: 19 dez. 2006.

UNIDO. Disponível em: <<http://www.unido.org>> - Acesso em: 19 dez. 2006.

VICENTE, M.M.R. Figura 3 **“Os 3Rs para salvar a Terra”** Trabalho realizado por Maria Manuela Ribeiros Vicente, no âmbito da acção de formação Redes Electrónicas de Aprendizagem e Trabalho Colaborativo Maio de 2000. Disponível em: <http://www.minerva.uevora.pt/publicar/3r/images/sglobo_rrr.jpg>. Acesso em: 06 mai. 2007

VILLENA D. **“Cutting Fluids Bok Hot Off the Press”**, Lubricants World, 25. Maio 1994.

VOCABULÁRIO BÁSICO DE RECURSOS NATURAIS E MEIO AMBIENTE. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 300 p.

Z. PAWLAK ET AL. **“The tribochemical and micellar aspects of cutting fluids”**. Tribology International 38 1–4. 2005.