

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**Otimização do Uso de Óleos Refrigerantes
na Indústria Metal-Mecânica**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gabriela Sporleder Straatmann

Porto Alegre

2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Otimização do Uso de Óleos Refrigerantes na Indústria Metal-Mecânica

Gabriela Sporleder Straatmann

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Área de concentração: **Pesquisa e
Desenvolvimento de Processos**

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Otávio Trierweiler

Co-orientador:

Prof^ª Dr^ª Keiko Wada

Porto Alegre

2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação *Otimização do Uso de Óleos Refrigerantes na Indústria Metal-Mecânica*, elaborada por **Gabriela Sporleder Straatmann**, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Argimiro Resende Secchi

Prof. Dr^a Liliana Amaral Féris

Prof. Dr^a. Talita Furlanetto Mendes

Esta dissertação é dedicada ao homem que me ensinou a sonhar. Que meu pai possa ver este trabalho de onde estiver e sinta o mesmo orgulho que eu sempre senti e ainda sinto de ser sua filha.

“ E ainda que tivesse o dom da profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda fé, de maneira tal que transportasse montanhas, e não tivesse amor, nada seria.”
I Coríntios 13,2

Agradecimentos ...

... a Deus, pela luz sempre acesa a iluminar o meu caminho,

... ao meu companheiro, meu melhor amigo, meu amante, minha razão de acordar, minha razão de viver, meu tudo: meu marido Leandro, pelo apoio, pelo amor, pelo carinho, pela paciência e pelo mimo nas horas difíceis;

... as minhas fãs nº 1, minha mãe Iolanda e minha dinda Tânia, pelo incentivo, pela confiança, pela corujisse, pelo exemplo de coragem e força pra enfrentar as adversidades da vida;

... aos meus grandes amigos do mestrado, Dani, Laura, Lu & Astrid, Leandrinho, Luciane, Fer, Karix, Gaby, Letícia, Andréa, Maurício, Ricardo, Gobbo, Clauren e Cris, pelos dois anos inesquecíveis de convivência, de encontros no bar, de festas, de churrascos, de conversas calmantes;

... ao meu orientador Jorge, pelo incentivo e dedicação a esse trabalho;

... ao professor Argimiro, pela grande contribuição técnica;

... a minha co-orientadora Keiko, pelo tempo dispensado;

... aos professores do mestrado, principalmente, Lígia, Talita, Keiko, Arge e Jorge que, desde a graduação, me fazem sentir orgulho de ser sua aluna, fazendo-me aprender bem mais que a simples teoria de uma disciplina;

... aos Lascipianos, pela agradável convivência diária;

... ao “meu” bolsista de IC, Rodrigo, pelo acompanhamento ao longo 12 meses;

... ao Vinícius, pelo apoio técnico nos últimos dois meses de trabalho;

... à amiga que me conquistou na AGCO, Lúcia, pela companhia nos almoços e por me ouvir sempre que precisei de um ombro amigo;

... a todos no setor de meio ambiente da AGCO, Ana, Norbert, Vanessa, Jorge, Kauê, Guilherme, Carol, Lúcia, por terem me acolhido na empresa e me “adotado” no setor;

... a todo o pessoal da fábrica, principalmente, Ingomar, Maurício, Fernando, Cláudio, Luiz Fernando, Wagner, pela grande ajuda prática ao trabalho;

... aos laboratorista da Qualidade, Norberto e Sadi, por terem compartilhado comigo seu local de trabalho;

... à prof^a Gertrudes, da Microbiologia da UFRGS, pelos relevantes esclarecimentos nesta área;

... à Sirley, pelo apoio técnico aos experimentos laboratoriais e por sua eficiência e carinho demonstrado para comigo;

... à Comissão Examinadora, a minha banca, pela contribuição à dissertação em todos os aspectos e, em especial, à Liliana, pela orientação na área ambiental.

Resumo

Neste trabalho, foi realizado um estudo de óleos refrigerantes emulsionados utilizados em máquinas de usinagem da indústria metal-mecânica, com o objetivo de minimizar os gastos com reposição de óleo e o volume de resíduos contaminados pelo mesmo. Foram constatados três problemas principais na utilização do óleo refrigerante emulsionado em estudo: a presença de bactérias degradantes do óleo, a reposição da emulsão de maneira indevida e o arraste de óleo pelos cavacos e limalhas provenientes da própria usinagem.

Como solução para estes três problemas principais, foi projetado um equipamento de controle e automação. Este protótipo é composto por três partes essenciais: tratamento bacteriológico prévio da água usada para emulsão do óleo, passagem da água de reposição através dos cavacos e limalhas e controle da concentração do óleo na emulsão.

O protótipo foi instalado em uma máquina de usinagem da Empresa AGCO do Brasil, sede Canoas e os resultados obtidos foram surpreendentes quanto às grandes possibilidades de minimização dos gastos com óleo refrigerante e do volume de resíduos contaminados por óleos.

Abstract

In this work, a study of oil-in-water emulsion used in the working metal machines of the metal-mechanic industry, aiming to minimize the costs with oil replacement, was carried out. Three major problems were found in the use of the studied oil-in-water emulsion: the presence of degrading bacteria, the inadequate replacement of emulsion in the machines, and the dragging of oil by chips from the process.

For the solution of these problems, a prototype for automation and control of one of these machines was designed. Three essential parts compose the prototype: previous bacteriological treatment of the water used in the preparation of the emulsion, pass of this water through the chips, and control of the oil concentration in the emulsion.

The prototype was installed in a working metal machine of the company AGCO of Brazil, Canoas subsidiary and the obtained results were surprising with relationship to the great possibilities of to minimize the expenses with oil and the volumes of polluted residues by oils.

Sumário

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Óleos Refrigerantes	1
1.1.1 Principais Funções dos Óleos Refrigerantes	1
1.1.2 Classificação dos Óleos Refrigerantes	2
1.2 Tecnologia Limpa	3
1.2.1 A Produção mais Limpa como um fator de Desenvolvimento Sustentável	4
1.2.2 Impacto Ambiental	5
1.3 Motivação do Trabalho	5
1.4 A Empresa	6
1.4.1 O processo industrial	8
1.4.2 Histórico da Empresa	9
1.5 Estrutura da Dissertação	9
Capítulo 2 - Aspectos Básicos de Microbiologia	11
2.1 Testes para Contagem de Bactérias	11
2.1.1 Contagem de Células Totais	11
2.1.2 Contagem de Células Viáveis	12
2.1.3 Diluições	13
2.2 Influência da Temperatura no Crescimento Bacteriano	14
2.3 Influência do pH no Crescimento Bacteriano	15
2.5 Eliminação de Microorganismos	16
2.5.1 Agentes Físicos	17
2.5.2 Agentes Químicos	18
Capítulo 3 - Caracterização do Problema	21
3.1 Escolha do Óleo a Ser Estudado	21

3.2 Características do Óleo DMS 340 e Identificação dos Pontos de Sua Utilização	22
3.3 Bactérias Degradantes do Óleo	23
3.3.1 Pseudomonas ssp.....	23
3.3.2 Bacillus ssp	23
3.3.3 Micrococcus ssp	24
3.3.4 Proteus ssp.....	24
3.3.5 Staphylococcus ssp.....	24
3.3.6 Outros Aspectos sobre a Bactéria Pseudomonas ssp	25
3.4 Fontes de Contaminação por Bactérias	25
3.5 Reposição da Emulsão nas Máquinas	26
3.6 Consumo Atual do Óleo.....	28
3.7 Perda de Óleo nos Cavacos e Limalhas	30

Capítulo 4 - Projeto do Protótipo.....33

4.1 Características Requeridas	33
4.2 Esterilização da Água.....	34
4.3 Medição da Concentração de Óleo em Emulsão.....	35
4.3.1 Testes com turbidez.....	35
4.3.2 Testes com pH.....	35
4.3.3 Testes com condutividade elétrica	36
4.4 Funcionamento do Protótipo	37
4.4.1 Sistema de esterilização e reposição de água.....	38
4.4.2 Sistema de lavagem dos cavacos e limalhas	39
4.4.3 Sistema de medição de concentração e de reposição de óleo	39
4.4.4 Sistemática de funcionamento.....	40
4.5 Máquina Escolhida.....	41
4.6 Resumo da Solução Proposta.....	42

Capítulo 5 - Instalação do Protótipo.....45

5.1 Calibração dos Equipamentos Componentes do Protótipo	45
5.1.1 Calibração para a Condutividade Elétrica.....	45
5.1.2 Calibração dos Sensores de Pressão.....	47
5.1.2.1 Sensor de pressão do tanque principal	47
5.1.2.2 Sensor de pressão do tanque de óleo.....	48
5.1.2.3 Calibração da entrada de água no sistema.....	49
5.2 Projeto de Controle e Aquisição de Dados	50
5.2.1 Malha de controle do volume no tanque principal.....	50
5.2.2 Malha de controle de concentração da emulsão.....	51

Capítulo 6 - Resultados Experimentais e Estimativa do Impacto Econômico e Ambiental53

6.1 Dados Experimentais Anteriores à Instalação do Protótipo.....	53
6.1.1 Características visuais da emulsão e concentração medida	54
6.2 Resultados Experimentais da Instalação do Protótipo	55

6.2.1 Características visuais da emulsão	57
6.3 Estimativa dos Impactos Econômico e Ambiental.....	57
6.3.1 Quanto à degradação por bactérias	58
6.3.2 Quanto à reposição de óleo	59
6.3.3 Quanto à perda de óleo por arraste nos cavacos e limalhas	60
6.3.4 Resumo da estimativa do impacto econômico e ambiental	60
Capítulo 7 - Conclusões e Sugestões	61
7.1 Conclusões	61
7.1.1 Os três problemas principais foram solucionados com a instalação do protótipo	61
7.1.2 O sistema de esterilização da água por radiação ultravioleta é plenamente satisfatório.....	61
7.1.3 A condutividade elétrica é uma boa alternativa para a medição da concentração de óleo em emulsão.....	62
7.1.4 A lavagem dos cavacos e limalhas e o esgotamento dos mesmos durante a noite são muito eficientes	62
7.2 Sugestões de Trabalhos Futuros.....	62
Apêndice A - Formulários	65
Apêndice B - Equipamentos Componentes do Protótipo	65
Apêndice C - Programas em Matlab® e em C ++.....	71
Referências Bibliográficas	77

Lista de figuras

Figura 1.1:	Fluxograma das estratégias de Produção mais Limpa	3
Figura 1.2:	Foto aérea da fábrica da AGCO Canoas.	7
Figura 1.3:	Um exemplo de produto da empresa: um dos tipos de tratores agrícolas que são fabricados na AGCO-Canoas.	7
Figura 1.4:	Pátio de expedição de produtos exportados para os Estados Unidos.	7
Figura 1.5:	Foto da linha de montagem de tratores.	8
Figura 2.1:	Contagem microscópica direta.....	12
Figura 2.2:	Esquema de dois métodos de realização de contagem em placa: o método de espalhamento na placa e o método da placa pobre.	13
Figura 2.3:	Diluições necessárias para aplicação dos métodos de contagem em placa.....	14
Figura 3.1:	Tanque de preparação de emulsão localizado junto aos equipamentos de usinagem.....	27
Figura 3.2:	Tambor de óleo puro localizado junto aos equipamentos de usinagem.....	27
Figura 3.3:	Dados da quantidade de óleo utilizada para cada unidade de produto no período de dezembro de 1999 a janeiro de 2002.	29
Figura 3.4:	Dados de consumo de óleo e de produção no período de dezembro de 1999 a janeiro de 2002.	30
Figura 3.5:	<i>Container</i> de recolhimento de cavacos e limalhas.....	31
Figura 4.1:	Gráfico da relação entre a grandeza turbidez e a concentração de óleo em emulsão.	35
Figura 4.2:	Gráfico da relação entre a grandeza pH e a concentração de óleo em emulsão.....	36
Figura 4.3:	Gráfico da relação entre a grandeza condutividade e a concentração de óleo em emulsão.	36

Figura 4.4:	Análise do efeito da presença de limalhas na condutividade elétrica da emulsão.....	37
Figura 4.5:	Diagrama simplificado do protótipo.....	38
Figura 4.6:	Sistema de esterilização da água por radiação ultravioleta.....	39
Figura 4.7:	Sistema de peneira/tanque para lavagem dos cavacos.....	39
Figura 4.8:	Tanque de armazenamento de óleo.	40
Figura 4.9:	Máquina escolhida para instalação do protótipo.	41
(Figura 4.10):	Máquina escolhida: quatro etapas de furadeiras.	42
Figura 4.11:	Peça usinada pela máquina escolhida.....	42
Figura 5.1:	Curva de calibração condutividade / concentração.....	46
Figura 5.2:	Curva de calibração do sensor de pressão do tanque principal com relação ao volume de água.....	47
Figura 5.3:	Curva de calibração do sensor de pressão do tanque principal com relação ao volume de água.....	48
Figura 5.4:	Curva de calibração de entrada de água no sistema.....	49
Figura 5.5:	Esquema de controle do protótipo confeccionado no <i>simulink</i> do Matlab®.	50
Figura 6.1:	Frasco contendo uma amostra de emulsão coletada na máquina escolhida um dia antes da instalação do protótipo.....	55
Figura 6.2:	Frasco contendo uma amostra de emulsão coletada na máquina escolhida após a instalação do protótipo.	57
Figura B.1:	Condutivímetro Digimed DM-3.....	65
Figura B.2:	Sensor de pressão.	66
Figura B.3:	Módulo de entradas analógicas.	66
Figura B.4:	Módulo conversor.....	67

Figura B.5:	Módulo de saída digital.	68
Figura B.6:	Equipamento de emissão de radiação ultravioleta.....	69
Figura B.7:	Válvula de controle.....	69
Figura B.8:	Válvula Gaveta.....	69
Figura B.9:	Tanque principal.....	70
Figura B.10:	Tanque com peneira.	70

Lista de tabelas

- Tabela 3.1:** Dados aproximados de consumo e custos anuais do óleos refrigerantes utilizados na empresa..... 21
- Tabela 3.2:** Bactérias encontradas em cada ponto possível de contaminação da emulsão. Os pontos em que a bactéria foi encontrada estão assinalados com X. 23
- Tabela 3.3:** Experimento de determinação da fonte de contaminação por bactéria. Becker 1: água destilada. Becker 2: água sem tratamento utilizada na fábrica. Valores em UFC/mL. 26
- Tabela 3.4:** Dados de consumo total de óleo e da sua origem a partir de informações dos operadores dos equipamentos no período de 30 dias. 28
- Tabela 5.1:** Valores de concentração e condutividade utilizados para calibração.46
- Tabela 5.2:** Valores de corrente elétrica e volume utilizados para calibração do sensor de pressão do tanque principal. 47
- Tabela 5.3:** Valores de volume de óleo e corrente utilizados na calibração do sensor de pressão do tanque de óleo. 48
- Tabela 5.4:** Valores de volume de água e de tempo para calibração da entrada de água..... 49
- Tabela 6.1:** Dados de quantidades de reposição de óleo e de água e de peças produzidas na máquina escolhida antes da instalação do protótipo ao longo de 20 dias úteis. 54
- Tabela 6.2:** Dados de quantidades médias de reposição de óleo e de água, por dia e por peça usinada anterior à instalação do protótipo. 54
- Tabela 6.3:** Dados de quantidades de óleo e de água repostos e de peças produzidas na máquina escolhida após a instalação do protótipo ao longo de 12 dias úteis. 55
- Tabela 6.4:** Dados de quantidades médias de reposição de óleo e de água, por dia e por peça usinada posterior à instalação do protótipo..... 56
- Tabela 6.5:** Dados de concentração da emulsão no início e no final do dia (os valores em negrito correspondem aos dias que houve reposição de óleo).56

Tabela 6.6: Quantidades médias de emulsão recuperada durante a noite e de óleo recuperada na lavagem dos cavacos e limalhas.	56
Tabela 6.7: Concentrações de óleo medidas em emulsões de máquinas escolhidas aleatoriamente.	57
Tabela 6.8: Dados estimados de volume de emulsão descartado.....	58
Tabela 6.9: Resumo da estimativa anual do impacto econômico e ambiental. .	60

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo introdutório, serão apresentados conceitos e assuntos relevantes como Tecnologia Limpa, Desenvolvimento Sustentável e Impacto Ambiental, bem como a relação destes assuntos com a diminuição da geração de resíduos industriais, deixando claro a motivação e a relevância deste trabalho. Além disso, será relatado um breve histórico sobre a empresa onde o trabalho foi desenvolvido e, também, a estrutura desta dissertação.

1.1 Óleos Refrigerantes

Também chamados fluidos de corte, são aqueles líquidos ou gases aplicados na ferramenta e no material que está sendo usinado, a fim de facilitar a operação de corte (MARK'S, 1995).

1.1.1 Principais Funções dos Óleos Refrigerantes

As principais funções dos óleos refrigerantes são a refrigeração da região de corte, a lubrificação das superfícies em atrito, o arraste do cavaco gerado na área de corte e a proteção da ferramenta, da peça e da máquina contra corrosão e oxidação. A refrigeração desempenha um papel fundamental na usinagem, pois remove o calor gerado durante a operação, promovendo o aumento da vida útil das ferramentas garantindo a precisão dimensional das peças pela redução dos gradientes térmicos (CIMM, 2002).

A lubrificação nas interfaces peça-ferramenta-cavaco é difícil e complexa, em virtude das elevadas pressões de contato nessas interfaces. Outro agravante é a dificuldade de conduzir esse lubrificante até a posição desejada (as interfaces já mencionadas). A eficiência do lubrificante vai depender das características e da sua habilidade em penetrar na região entre o cavaco e a ferramenta, formando um filme com resistência ao cisalhamento menor que a resistência do material na interface (CIMM, 2002).

Em determinados processos de usinagem torna-se fundamental considerar o destino do cavaco após a sua formação. O cavaco formado deve ser retirado da área de trabalho para não riscar ou comprometer o acabamento da peça, danificar a ferramenta ou impedir a própria usinagem. No caso de furação profunda, por exemplo, o cavaco formado no fundo do furo tende a acumular excessivamente, dificultando o corte e a formação de mais cavaco. Até mesmo no torneamento externo, cavacos em forma de fitas longas podem se enroscar na peça e na ferramenta e atrapalhar o trabalho. Por isso os fluidos de corte são empregados também como removedores de cavaco da área de trabalho (CIMM, 2002).

1.1.2 Classificação dos Óleos Refrigerantes

Stemmer (1995), afirma que o termo "meios lubri-refrigerantes", é mais abrangente que o termo "lubrificantes", referindo-se à qualquer substância (ou mistura) usada para lubrificar e/ou refrigerar uma operação de corte. Stemmer classifica os meios lubri-refrigerantes em cinco grupos, de acordo com as substâncias (ou misturas) que os compõem:

Soluções: As soluções são misturas de água e produtos orgânicos e inorgânicos especiais que conferem propriedades úteis para o seu uso como fluido de corte. As soluções não contêm óleo na sua composição;

Emulsões: São também chamadas de "óleos solúveis" ou fluidos semi-sintéticos, apesar de a denominação "óleo solúvel" ser imprópria, pois o óleo não está solubilizado na água, mas sim disperso por causa do emulsificador. As emulsões igualmente contêm aditivos, que melhoram ou conferem novas propriedades ao fluido. Os fluidos semi-sintéticos também são formadores de emulsões, mas apresentam uma menor concentração de óleo na emulsão. Tal fato aumenta a vida útil do fluido e diminui os riscos à saúde.

Óleos Integrais: Os óleos (ou fluidos) integrais são constituídos basicamente de óleos graxos e óleos minerais, que podem ser usados puros ou misturados, ou com aditivos. Os óleos graxos, de origem animal ou vegetal, foram os primeiros óleos integrais, mas sua rápida deterioração e alto custo fizeram com que eles fossem substituídos por outros produtos. Atualmente são usados como aditivos de óleos minerais, que são derivados do petróleo.

Gases e Névoas: O ar é o fluido gasoso mais utilizado, estando presente até mesmo na usinagem a seco. O ar comprimido é utilizado para melhorar a retirada de calor e expulsão do cavaco da zona de corte. Os fluidos gasosos, com sua menor viscosidade, são mais eficientes na capacidade de penetrar até a zona ativa da ferramenta. Outros gases como o argônio, hélio, nitrogênio e dióxido de carbono também são utilizados para a refrigeração e proteção contra oxidação, porém apenas em casos específicos, visto ser esta uma usinagem pouco econômica.

Sólidos (MoS₂): A pasta de Bissulfeto de Molibidênio pode ser aplicada na superfície de saída da ferramenta com um pincel. Pelas suas características lubrificantes em condições de extrema pressão, tem dado excelentes resultados.

1.2 Tecnologia Limpa

O termo "Tecnologia Limpa" pode ser conceituado como a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Esta abordagem conduz a inovações nas empresas, avançando um passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentado e competitivo, não apenas para as empresas, mas para toda a região que abrangem. Tecnologias ambientais convencionais trabalham no tratamento de resíduos e emissões gerados em um processo produtivo. São as chamadas técnicas de fim-de-tubo. A Produção mais Limpa pretende integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade. Para tanto, podem ser utilizadas várias estratégias visando à Produção mais Limpa e à minimização de resíduos, como é mostrado na Figura 1.1 (CNTL –Senai/RS):

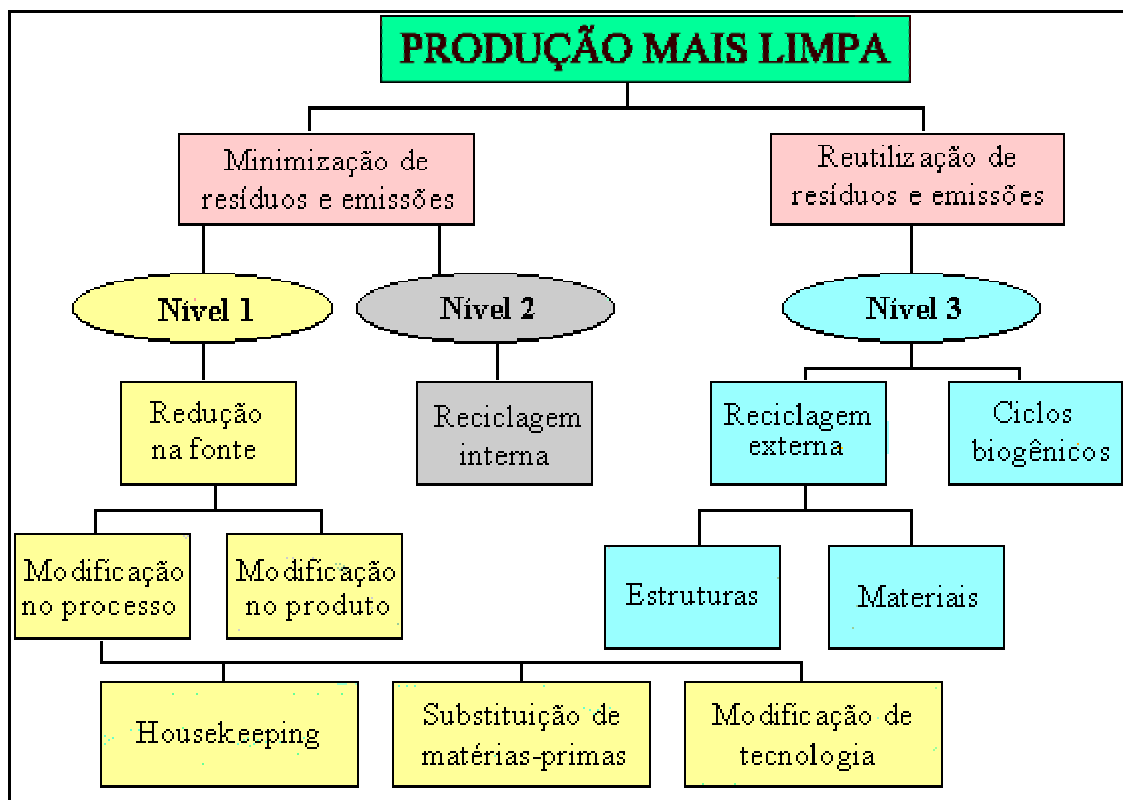


Figura 1.1: Fluxograma das estratégias de Produção mais Limpa

A prioridade da Produção mais Limpa está no topo, à esquerda, do fluxograma da Figura 1.1: evitar a geração de resíduos e emissões (nível 1). Os resíduos que não podem ter a geração minimizada devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2). Medidas de reciclagem fora da empresa podem ser utilizadas (nível 3). A

prática do uso da Produção mais Limpa leva ao desenvolvimento e implantação de Tecnologias Limpas nos processos produtivos (CNTL –Senai/RS).

As tecnologias decorrentes das inovações ambientais não diferem do padrão das demais inovações e também cooperam para a lucratividade da empresa. A produção de inovações tecnológicas requer um acúmulo de conhecimentos sobre mercado, tecnologias disponíveis e pesquisas científicas que permitam o desenvolvimento de soluções ambientais que representem vantagens competitivas. Podem ocorrer desde pequenas melhorias obtidas nas atividades de rotina a grandes modificações no *design* de produtos e processos para se atingir as metas ambientais da organização. Se a empresa, ao invés de utilizar técnicas de fim-de-tubo, utilizar técnicas de produção mais limpa, que procuram minimizar resíduos atuando no processo e administrando materiais de forma a evitar desperdícios, será detentora do conhecimento tecnológico de como tornar estas atividades menos agressivas (DAROIT, 2000).

Atualmente, várias técnicas envolvendo Tecnologias Limpas estão sendo empregadas em diferentes setores da indústria no mundo. Exemplos destas técnicas são: a utilização de ultrafiltração (membrana cerâmica) no tratamento da *waste* proveniente da destilação no processo de produção de etanol (KIM, 1997), a utilização de eletrodialise na recuperação de cobre e níquel em processos galvânicos (BERNARDES, 2000), o desenvolvimento de um sistema de nanofiltração acoplado a precipitação com cálcio no tratamento de águas residuais da indústria de vidro, obtendo uma água reciclada de alta qualidade (LEE, 1997), a desinfecção de poluentes de águas industriais de lavagem por processos avançados de oxidação utilizando ozônio (LUCK, 1997).

1.2.1 A Produção mais Limpa como um fator de Desenvolvimento Sustentável

Reduzir a poluição através do uso racional de matéria-prima, água e energia significa uma opção ambiental e econômica para muitos anos de processo. Diminuir os desperdícios implica em maior eficiência no processo industrial e menores investimentos para soluções de problemas ambientais.

A transformação de matérias-primas, água e energia em produtos, e não em resíduos, tornam uma empresa mais competitiva. O tema "Produção mais Limpa" não é apenas um tema ambiental e econômico. A geração de resíduos em um processo produtivo, muitas vezes, está diretamente relacionada a problemas de saúde ocupacional e de segurança dos trabalhadores. Desenvolver a "Produção mais Limpa" minimiza estes riscos, na medida em que são identificadas matérias-primas e auxiliares menos tóxicos, contribuindo para a melhor qualidade do ambiente de trabalho (CNTL –Senai/RS).

Uma consequência positiva, muitas vezes difícil de mensurar, é o fortalecimento da imagem da empresa frente à comunidade e autoridades ambientais. Como justificativa, apresenta-se também o fato de que os consumidores de hoje exigem cada vez mais produtos "ambientalmente corretos". Os consumidores assumem previamente que as empresas sejam tão responsáveis em relação à qualidade de seus produtos, como responsáveis em relação ao meio ambiente nas suas práticas produtivas.

Definições de desenvolvimento sustentável mencionam responsabilidades quanto ao emprego mais eficiente possível de recursos naturais de maneira que não prejudique as gerações futuras. Relacionando esta definição com Produção mais Limpa, pode-se observar que produzir sustentavelmente significa, em palavras simples, transformar recursos naturais em produtos e não em resíduos (CNTL –Senai/RS).

1.2.2 Impacto Ambiental

O termo Impacto Ambiental pode ser analisado sob diferentes pontos de abordagem. A Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986 define impacto ambiental como:

"Considera-se Impacto Ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causadas 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."

Segundo a Norma ISO 14001, Impacto Ambiental consiste em qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização.

Juridicamente, o conceito de impacto ambiental refere-se exclusivamente aos efeitos da ação humana sobre o meio ambiente. Portanto, fenômenos naturais como tempestades, enchentes, incêndios florestais por causa natural, terremotos e outros, apesar de provocarem as alterações ressaltadas não caracterizam um impacto ambiental.

1.3 Motivação do Trabalho

Atualmente, a utilização dos óleos refrigerantes nas unidades de usinagem consiste em intensa preocupação do setor metal-mecânico. Esta preocupação deve-se ao fato do grande aumento da quantidade de óleo utilizada e, por conseqüência, incrementos significativos nos custos de produção e em resíduos contaminados pelo mesmo. O estado do Rio Grande do Sul é um grande centro de indústrias metal-mecânicas do país, com grandes empresas em vários setores como, tratores e implementos agrícolas, automotivo e metalúrgico. Cada empresa gera, anualmente, milhões de litros de resíduos contaminados por milhares de litros de óleos refrigerantes utilizados em seus processos. Estes resíduos provocam um grande impacto ambiental, uma vez que, em sua maioria, são contaminados por óleos solúveis em água e, portanto, de difícil separação e recuperação.

Existem problemas comuns em todas as indústrias metal-mecânicas, como a proliferação de bactérias em emulsões preparadas com óleos solúveis utilizadas nos processos de usinagem como também a perda de óleo por arraste dos cavacos (resíduos metálicos

gerados no processo). As bactérias presentes na emulsão provocam degradação do óleo e conseqüente redução da vida útil destas emulsões.

O presente trabalho tem por objetivo a minimização do volume de óleo gasto no processo de usinagem, assim como utilização deste óleo de maneira mais racional e eficiente. Esta otimização do processo envolve um estudo dos problemas que causam um aumento demasiado do volume gasto de óleo, como a degradação por bactérias e o arraste deste pelos cavacos. O estudo foi desenvolvido junto a uma indústria metal-mecânica da grande Porto Alegre, com colaboração dos setores de Meio Ambiente e de Produção desta indústria. A empresa é apresentada no ietm que segue..

1.4 A Empresa

A AGCO do Brasil Comércio e Indústria Ltda, é uma empresa fabricante de equipamentos agrícolas subsidiária da AGCO Corporation, com sede em Duluth (EUA). A AGCO Corporation é um dos maiores fabricantes e distribuidores de equipamentos agrícolas do mundo, possuindo fábricas em 9 países (Alemanha, Argentina, Austrália, Brasil, Dinamarca, Estados Unidos, França, Inglaterra e México) e atua em mais de 140 países com uma linha completa que inclui tratores, colheitadeiras, implementos de preparo do solo, para fenação, forragem, plantadeiras, pulverizadores e sistema de agricultura de precisão Fieldstar. Foi fundada em 1989 e desde então vem desenvolvendo sua vocação empresarial sempre em atividades diretamente ligadas à produção agrícola, organizando uma rede de suporte técnico com mais de 8.500 concessionárias.

No Brasil, onde o grupo atua desde julho de 1996 quando assumiu a operação das fábricas de tratores e colheitadeiras que pertenciam a Iochpe-Maxion, opera diversas marcas que, num processo de constante investimento e intercâmbio tecnológico, fazem a força da companhia. Algumas tem uma trajetória que se confunde com a própria mecanização agrícola, como é o caso da Massey Ferguson.

A planta industrial de Canoas (Figura 1.2), no Rio Grande do Sul, que produz anualmente cerca de 14.000 tratores agrícolas e industriais (Figuras 1.3) para o mercado interno e externo (Figura 1.4), conta com 1.100 empregados e está certificada pela ISO 9000 desde 1994 e pela ISO 14001 desde novembro de 1999.



Figura 1.2: Foto aérea da fábrica da AGCO Canoas.



Figura 1.3: Um exemplo de produto da empresa: um dos tipos de tratores agrícolas que são fabricados na AGCO-Canoas.



Figura 1.4: Pátio de expedição de produtos exportados para os Estados Unidos.

1.4.1 O processo industrial

O processo de fabricação de tratores agrícolas da AGCO, sede Canoas, é composto de várias partes integradas da fábrica propriamente dita, como:

- produção de peças componentes do trator;
- pintura do trator;
- recepção de peças fabricadas por terceiros;
- laboratório de qualidade;
- setor de testes simuladores do desempenho do trator em campo;
- marcenaria;
- serralheria;
- manutenção (elétrica, hidráulica e serviços gerais);
- linha de montagem do trator (Figura 1.5);
- etc.



Figura 1.5: Foto da linha de montagem de tratores.

Este trabalho foi desenvolvido na parte da fábrica referente à produção de peças. A fabricação de peças abrange máquinas de usinagem, como tornos, furadeiras, fresadoras, etc. E é nestas máquinas de usinagem que são aplicados os óleos refrigerantes, objeto principal de estudo neste trabalho.

1.4.2 Histórico da Empresa

A AGCO vem seguindo a trilha histórica das empresas que impulsionadas principalmente pela pressão social, pela competitividade e pela credibilidade que as ações sociais oportunizam, passaram a agregar novas funções, incluindo o fator ambiental que cresceu em importância devido ao aumento da conscientização quanto à problemática ambiental e à busca da melhoria da qualidade de vida.

Sendo a AGCO uma empresa moderna desde que aqui aportou, além de se dedicar a resolver as questões relativas à qualidade, custos, pessoal e concorrência, também vem dedicando significativos espaços para adequação de sua operação às questões ambientais e sociais.

Várias ações com a implantação do Sistema de Gestão Ambiental, tais como: tecnologias limpas no processo industrial, coleta seletiva, reaproveitamento e reciclagem de resíduos, como diversos programas de educação ambiental, são as evidências do comprometimento da empresa e de seus colaboradores em traçar uma perspectiva sustentável direcionada para prevenção e solução de problemas ambientais.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em sete capítulos. O capítulo seguinte a este, chamado Aspectos Básicos de Microbiologia, descreve os métodos das análises microbiológicas realizadas ao longo do trabalho, bem como uma breve introdução a alguns conceitos de microbiologia.

O Capítulo 3, Descrição do Problema, descreve o problema real a ser estudado, incluindo o cenário da fábrica, os caminhos que o óleo percorre até ser descartado, os valores gastos com reposição de óleo, a produção da empresa, etc.

O Capítulo 4, Projeto do Protótipo, descreve as soluções encontradas para cada problema constatado e o projeto de um protótipo que efetive essas soluções na prática.

Já o Capítulo 5, Instalação do Protótipo, aborda os caminhos práticos para a instalação do protótipo, como montagem e calibração dos equipamentos componentes e a programação computacional para seu funcionamento automatizado.

O Capítulo 6, Resultados Experimentais e Estimativa do Impacto Econômico e Ambiental, é onde todos os resultados obtidos através do protótipo são apresentados e discutidos.

E, finalmente, o último capítulo, Conclusões e Sugestões, apresenta as conclusões e avaliações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Aspectos Básicos de Microbiologia

Este capítulo contém alguns aspectos básicos de Microbiologia que precisaram ser estudados para um melhor entendimento de um dos problemas principais a ser descrito no capítulo seguinte: contaminação da emulsão por bactérias. Primeiramente, serão introduzidos alguns aspectos sobre testes de contagem de bactérias e, a seguir, alguns breves comentários sobre as influências da temperatura, do pH e da presença de oxigênio no meio onde os microorganismos vivem. Por fim, serão apresentados alguns conceitos sobre eliminação de microorganismos.

2.1 Testes para Contagem de Bactérias

Existem vários tipos de testes para contagem de bactérias. Cada teste possui características diferentes e, por isso, torna-se importante o conhecimento de seus aspectos básicos para selecionar o teste que atingirá os objetivos previstos.

2.1.1 Contagem de Células Totais

O número de células em uma população pode ser medido por contagem de células de uma amostra no microscópio, método chamado contagem microscópica direta. O método consiste na marcação de uma grade com quadrados de dimensões muito pequenas, mas precisamente medidas, como mostra a Figura 2.1. O número de células por unidade de área da grade pode ser contado no microscópio. Na prática, alguns quadrados da grade são contados e, depois, é calculada uma média para o número de células nos quadrados e, facilmente, chega-se ao número de células por volume de amostra ou por massa de amostra (MADIGAM, 2000).

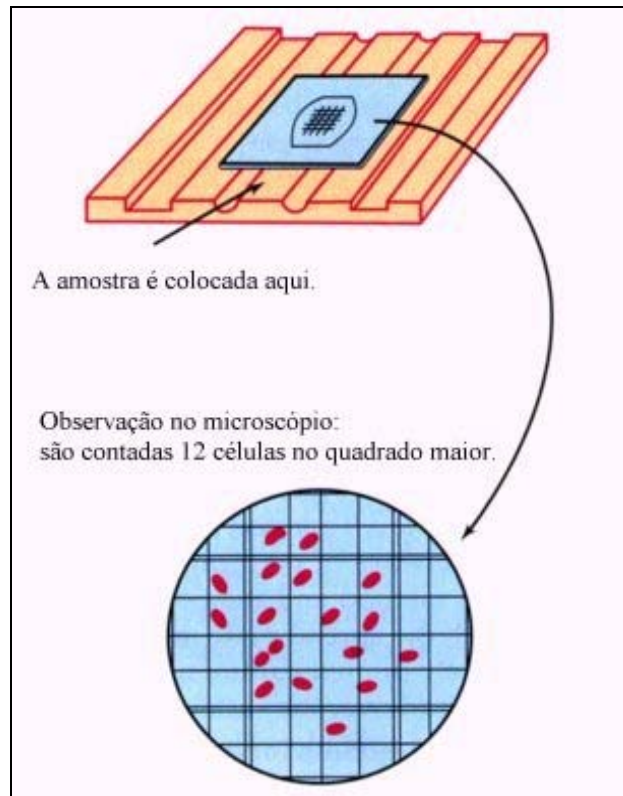


Figura 2.1: Contagem microscópica direta.

A contagem microscópica direta é um meio fácil para estimar o número de células microbianas, entretanto, apresenta certas limitações:

- células mortas não são distinguidas de células vivas;
- pequenas células são difíceis de serem vistas no microscópios e algumas células são, provavelmente, perdidas;
- uma fase de contraste é requerida quando a amostra não permite a visualização dos microorganismos;
- o método não é usualmente indicado para células em suspensão de baixa densidade.

2.1.2 Contagem de Células Viáveis

No método das células totais, tanto as células mortas como as células vivas são contadas. Em muitos casos, só há interesse na contagem das células vivas e, para este propósito, métodos de contagem de células viáveis foram desenvolvidos. Célula viável é definida como uma célula que está apta a se dividir e a formar descendência, e o caminho

usual para realizar a contagem de células viáveis é determinar o número de células na amostra capaz de formar colônia em um meio de cultura apropriado. Por esta razão, este método é também chamado de contagem em placa ou contagem de colônia e a unidade de contagem é Unidades de Formação de Colônia por mililitro de amostra (UFC/mL).

Há dois caminhos para a contagem em placa: o método de espalhamento na placa e o método da placa pobre, como mostra a Figura 2.2. Com o método de espalhamento na placa, um volume de uma cultura apropriadamente diluída, menor do que 0,1 mL, é espalhado sobre a superfície de uma placa esterilizada contendo agar (meio de cultura que supre todas as necessidades para o desenvolvimento da célula). A placa é incubada até colônias aparecerem e o número de colônias é contado (MADIGAM, 2000).

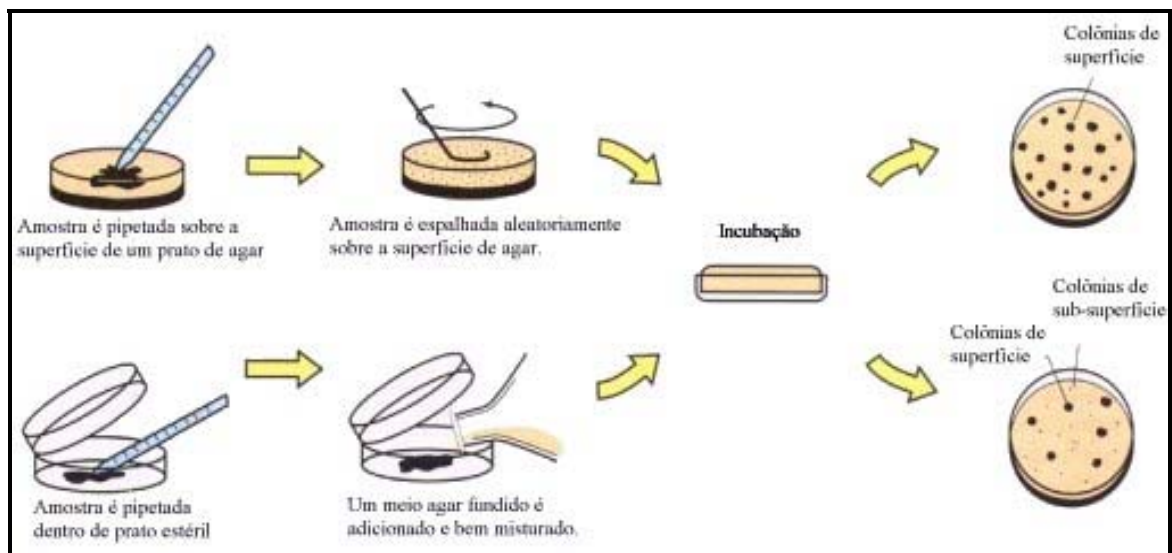


Figura 2.2: Esquema de dois métodos de realização de contagem em placa: o método de espalhamento na placa e o método da placa pobre.

No método da placa pobre, um volume conhecido (de 0,1 a 1 mL) de cultura é pipetado para uma placa de Petri esterilizada. Um meio de cultura agar é, então, adicionado e misturado bem à amostra. Por ser o meio agar misturado à amostra, pode ser usado um volume de amostra maior neste método do que o anterior.

2.1.3 Diluições

Para obter um número de colônias apropriado para contagem, a amostra a ser contada tem que ser diluída. Como normalmente não se conhece previamente a diluição correta, é usualmente necessário fazer várias diluições.

Para métodos de contagem em placa é importante que o número de colônias a serem contadas seja adequado. Em uma placa muito cheia, algumas células podem não formar colônias e, também, algumas colônias podem fundir-se a outras, causando erros na contagem. Além disso, se o número de colônias for pequeno, a significância estatística da contagem será baixa. A importância destas diluições é evidenciada na Figura 2.3.

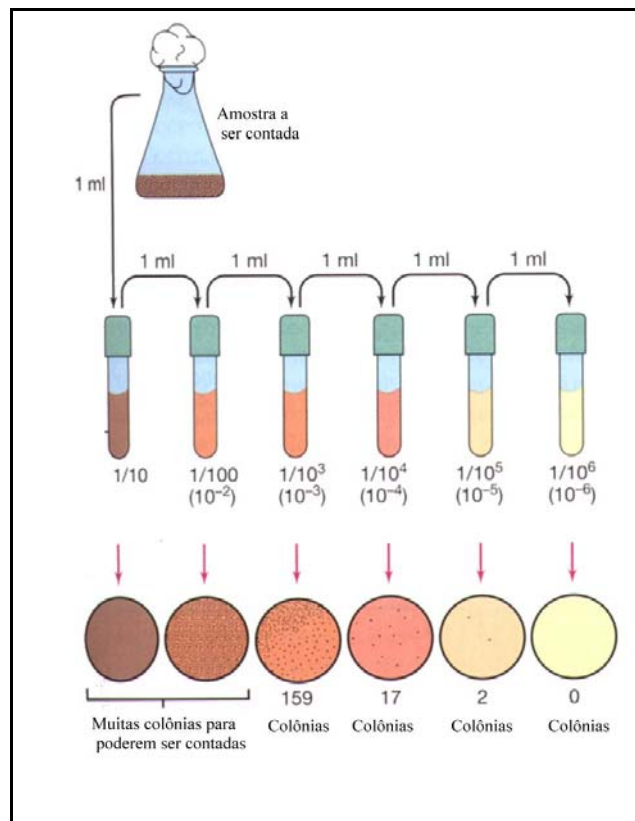


Figura 2.3: Diluições necessárias para aplicação dos métodos de contagem em placa.

2.2 Influência da Temperatura no Crescimento Bacteriano

Temperatura é um dos fatores mais importantes que afetam o crescimento e o desenvolvimento dos microorganismos. Em temperaturas muito baixas ou muito altas, a maioria dos microorganismos não está apta a crescer.

A temperatura pode afetar organismos vivos em dois caminhos opostos. Quando a temperatura aumenta, as taxas de reações enzimáticas na célula são maiores e o crescimento torna-se mais rápido. Então, quando a temperatura é elevada dentro de uma certa faixa, as funções de metabolismo e de crescimento aumentam até o ponto onde as reações de inativação se iniciam. Após este ponto, as funções celulares caem rapidamente para zero (MADIGAM, 2000).

Quanto à sua temperatura ótima (melhor condição de temperatura para as funções de crescimento e de metabolismo), os microrganismos são classificados em (MADIGAM, 2000):

- psicrófilos: organismos com temperatura ótima baixa;
- mesófilos: organismos com temperatura ótima intermediária;
- termófilos: organismos com temperatura ótima alta;
- hipertermófilos: organismos com temperatura ótima muito alta.

2.3 Influência do pH no Crescimento Bacteriano

Cada microorganismo tem uma faixa de pH dentro da qual o crescimento é possível e, usualmente, possui um pH ótimo bem definido. Meios naturais têm valores de pH entre 5 e 9 e organismos com seu ótimo dentro desta faixa são mais comuns. Somente poucas espécies podem crescer em valores de pH menores que 2 ou maiores que 10.

Os microrganismos podem ser classificados quanto ao valor ótimo de pH da seguinte forma:

- acidófilos: microrganismos que vivem em baixos valores de pH (abaixo de 7);
- alcalinófilos: microrganismos que vivem em altos valores de pH (acima de 7).

2.4 Influência do Oxigênio no Crescimento Bacteriano

Microrganismos variam em sua necessidade por, ou tolerância de, oxigênio. De fato, microrganismos podem ser divididos em vários grupos dependendo do efeito do oxigênio. Na Tabela 2.1, esses grupos estão colocados conforme sua relação com o oxigênio e o tipo de metabolismo (MADIGAM, 2000).

Tabela 2.1: Classificação dos microorganismos quanto a sua relação com o oxigênio e o tipo de metabolismo.

Grupo		Relação com O ₂	Tipo de Metabolismo
Aeróbio	Obrigatório	Requerido	Respiração aeróbica
	Facultativo	Não requerido, mas crescimento melhor com O ₂	Respiração aeróbica e anaeróbica, fermentação
	Microaerofílico	Requerido, mas em níveis mais baixos que a atmosfera	Respiração aeróbica
Anaeróbio	Aerotolerante	Não requerido e crescimento é pior com O ₂	Fermentação
	Obrigatório	Nocivo ou letal	Respiração anaeróbica ou fermentação.

2.5 Eliminação de Microorganismos

É interessante tecer algumas considerações sobre a terminologia empregada ao longo da dissertação a respeito deste assunto:

Esterilização - significa a destruição total da população microbiana e este termo deve ser empregado sempre em caráter absoluto, não sendo empregado quando não houver a destruição total dessa população.

Desinfetante - deve ser usado para os agentes capazes de matar as formas vegetativas dos microorganismos, não impedindo a sobrevivência de determinadas estruturas de resistência, como os esporos por exemplo.

Anti-séptico - termo utilizado para indicar um produto capaz de causar a morte de microorganismos.

Tempo de geração – tempo necessário e suficiente para que uma determinada espécie de bactérias tenha o tamanho de sua população dobrado.

Esporos – são estruturas de proteção que algumas espécies de bactérias são capazes de produzir para resistir a um meio adverso a sua reprodução até que este meio se torne favorável e a espécie possa se reproduzir.

Quando um determinado produto exerce uma ação específica sobre determinado grupo de microorganismos, ele é chamado de fungicida, bactericida, etc, se sua ação for sobre fungos

ou bactérias, respectivamente. Já os termos fungistático e bacteristático devem ser usados apenas quando eles inibem as atividades vitais daquele microrganismo sem matá-lo (Educação 100 %).

2.5.1 Agentes Físicos

Vários são os agentes físicos que agem sobre os microrganismos. Entre eles, destacam-se a temperatura, a pressão osmótica e as radiações, por serem os agentes físicos mais usados pelo homem no controle da população microbiana (Educação 100 %).

Temperatura: Todos os microrganismos sofrem influência da temperatura e o seu comportamento pode variar bastante. Entende-se por temperatura mínima e máxima a menor e maior temperatura em que há crescimento de determinado microrganismo e é uma característica específica para cada espécie. A temperatura máxima, não deve ser confundida com a temperatura letal, que é aquela que mata o microrganismo, sendo chamada de ponto térmico letal. Neste conceito está implícita a relação entre temperatura e tempo, visto que a ação da temperatura está diretamente relacionada ao tempo em que o microrganismo é submetido a esta temperatura. No controle dos microrganismos, a temperatura pode ser usada de várias maneiras, dentre as quais:

Vapor a pressão: A população microbiana é submetida a temperaturas elevadas sob pressão de 1/2 ou 1 atm em autoclave. Este processo permite a esterilização completa, visto que nestas condições há a coagulação das proteínas microbianas, com a conseqüente morte das células.

Tindalização: É um processo de esterilização fracionada em que o fluxo de vapor é aplicado a intervalos determinados. Este processo é usado quando não se deseja a coagulação das proteínas e o seu princípio visa destruir as formas vegetativas apenas, o que se consegue simplesmente pela aplicação do vapor fluente. Durante o período de repouso à temperatura ambiente, as formas de resistência passam para formas vegetativas e assim, quando submetida novamente a vapor fluente, são destruídas. É um processo muito usado na indústria de alimentos e farmacêutica, quando se deseja preservar a qualidade do produto que está sendo esterilizado.

Calor Seco: Neste caso, a sua ação se dá por desidratação e não por coagulação das proteínas.

Pasteurização: Processo muito usado em laticínios e o seu princípio é semelhante ao da tindalização. A grande diferença é que na pasteurização o substrato é submetido a temperaturas relativamente baixas (62°C) durante tempo de 30 min apenas, seguido de resfriamento brusco. Nestas condições, não há esterilização do substrato mas apenas a destruição de determinados microrganismos. É usado na indústria do leite e de sucos de frutas, quando se visa apenas a destruição de determinados germens, geralmente patogênicos ao homem, sem que haja qualquer alteração no produto submetido ao processo.

Temperaturas Baixas: São muito usadas na preservação de alimentos e neste caso, tem-se apenas a inibição da atividade microbiana. É fato que os microrganismos resistem a

temperaturas muito baixas, sem morrer. No entanto, o seu metabolismo é inativo em temperaturas próximas a 0°C, exceção feita aos microrganismos psicrófilos.

Pressão Osmótica: A pressão osmótica tende a igualar as pressões de um e outro lado da membrana celular. Quando um microrganismo é submetido a pressões osmóticas elevadas do substrato, como cloreto de sódio a 20%, ocorre saída de água da célula, provocando a plasmólise. Este princípio é muito usado no controle de microrganismos, principalmente na indústria alimentícia, sendo o sal e o açúcar usados como elementos preservativos dos alimentos. A carne salgada, doces e outros podem ser exemplos. Alguns microrganismos podem viver em concentrações elevadas de sal como as bactérias que vivem nas águas salgadas do mar Morto, numa concentração de 29%, de cloreto de sódio. Esses microrganismos são chamados de halófilos. Outros podem viver em concentrações elevadas de açúcar e são os sacarófilos. Como regra geral, concentrações de 10-15% de sal e 50-70% de açúcar inibem o crescimento de grande maioria dos microrganismos.

Radiações: Várias radiações, tais como os raios gama, raios X, raios ultravioletas e outros exercem ação sobre os microorganismos, seja provocando mutações, seja inibindo o seu crescimento ou mesmo, matando-os, dependendo da dose empregada. Embora como regra os microrganismos sejam mais resistentes que os animais superiores aos efeitos das radiações, o seu comportamento é basicamente o mesmo, o que possibilita serem os microrganismos utilizados frequentemente como testemunhas biológicas nos trabalhos sobre radiações. Este ponto é muito importante, porque o grande desenvolvimento da física nuclear nestes últimos anos tem obrigado pesquisas intensas sobre o comportamento dos seres vivos face às radiações.

Filtrações: As filtrações bacteriológicas são empregadas para a esterilização de líquidos ou soluções termolábeis. Para tanto, utiliza-se um filtro bacteriológico, que é capaz de reter talos bacterianos presentes nas soluções. É importante assinalar que a porosidade do filtro não é o único fator atuante, visto que a carga elétrica tem uma importância acentuada durante a filtração, sendo necessário sempre que o filtro tenha uma carga elétrica contrária a do material a ser filtrado.

2.5.2 Agentes Químicos

Ao lado dos agentes físicos, no controle dos microrganismos, os agentes químicos têm uma importância acentuada. Ainda não foi encontrado o desinfetante ideal, que seria o que apresentasse as seguintes propriedades (Educação 100 %):

- Alta toxicidade para os microrganismos;
- Solúvel em água;
- Estabilidade elevada;
- Inócuo para o homem e animais;

- Toxicidade para os microrganismos em temperatura ambiente;
- Capacidade de penetração;
- Não ser corrosivo nem manchar;
- Inodoro;
- Detergente.

Apesar do grande número de agentes químicos já estudados, nenhum deles se aproxima das qualidades ideais de um desinfetante. Então, são usados diferentes tipos, de acordo com a natureza do material a ser desinfetado e com a classe de microrganismos a ser morta. Os principais desinfetantes são incluídos num dos grupos que se seguem:

Fenol e Compostos Fenólicos: O ácido fênico, ou simplesmente fenol, foi o primeiro desinfetante a ser utilizado em larga escala. As primeiras intervenções cirúrgicas foram realizadas com o uso do fenol em larga escala. Essa prática mostrou-se de grande eficiência no controle de inúmeras infecções, notadamente a febre puerperal. No entanto, o fenol apresenta inúmeros inconvenientes, principalmente o de ser corrosivo ao homem. Apresenta, porém, boa ação bacteriana e bacteriostática. Hoje em dia, todos os produtos têm a sua eficiência medida por comparação com o ácido fênico. Ante às limitações do ácido fênico, foram desenvolvidos outros compostos como o cresol, que é de grande aplicação na agricultura, sendo usado na desinfecção de granjas, estábulos, material cirúrgico em veterinária, tratamento de infecções em animais domésticos. Outro composto fenólico muito usado é o hexaclorofeno, considerado atualmente um dos melhores bactericidas de superfície.

Álcool: Desinfetante de pele mais comumente usado é o álcool etílico em concentrações variáveis de 60 a 90%, mais frequentemente a 70%. É considerado muito bom desinfetante devido a sua ação desidratante e coaguladora de proteínas. No entanto, o álcool não tem ação sobre formas de resistência tais como os esporos de muitas bactérias. Este fato limita muito o emprego do álcool como esterilizante de superfície.

Cloro e Compostos Clorados: O cloro é um dos desinfetantes mais difundidos. Associando uma ação detergente à ação bactericida, o uso do cloro, tornou-se obrigatório em todos os tratamentos de água para o consumo humano. É o mais importante desinfetante de uso doméstico. Entre todos os compostos clorados, o hipoclorito de cálcio ou de sódio são os mais usados, em concentrações de 1 a 5%. O hipoclorito em solução na água origina o ácido hipocloroso que por sua vez forma o ácido clorídrico, libertando ozônio. Este é o princípio ativo, tendo ação fortemente oxidante, capaz de destruir talos bacterianos e, desprendendo-se em meio líquido, pode deixá-lo praticamente isento de germes. Por outro lado, o cloro pode também reagir com talos bacterianos, formando compostos tóxicos àquelas células, sendo esta última ação nitidamente inferior à primeira.

Metais Pesados e Compostos: Os metais pesados, como a prata, o mercúrio e o cobre, de alto poder quelante, podem originar compostos de alta ação fungicida e bactericida. Na agricultura esses produtos têm uma importância muito grande, pois quase a totalidade dos fungicidas atualmente usados no controle de doenças das plantas são compostos de metais pesados. Uma das principais formas de ação desses compostos é a sua combinação com proteínas do sistema enzimático dos microrganismos, inativando-as e, assim, impossibilitando o seu metabolismo normal. Entre os compostos metálicos mais usados, destacam-se: compostos de mercúrio, compostos de prata e compostos de cobre.

Sabões e Detergentes: São desinfetantes muito eficientes, principalmente pela sua ação mecânica, eliminando talos de microrganismos da superfície lavada. Como na sua constituição entram sempre sais de sódio e potássio, tem uma ligeira ação bactericida, muito seletiva, sendo eficiente apenas com respeito a alguns microrganismos.

Formol e Derivados : O formaldeído somente é estável na forma gasosa, em temperaturas elevadas e em concentrações elevadas. Nestas condições, é um dos produtos mais ativos, sendo considerado um esterilizante, visto destruir todos os microrganismos presentes no ambiente. Tem o seu uso limitado por ser produto gasoso, irritante e tóxico ao homem. A formalina é uma solução aquosa de formol, geralmente associada a um sabão ou detergente e em concentração de 40%. A formalina tem uso difundido em agricultura e veterinária, sendo recomendada na desinfecção de granjas, bebedouros, estábulos e em cirurgia veterinária. É recomendada também em uso doméstico, para a desinfecção de roupas, sanitários e mesmo, em higiene pessoal. Na agricultura é recomendada também como esterilizante do solo no controle de várias doenças das plantas, tendo uma importância restrita devido a sua alta fitotoxidez.

Capítulo 3

Caracterização do Problema

Neste capítulo, serão descritos os problemas constatados junto à empresa quanto à utilização de óleos refrigerantes. Esta descrição inclui escolha do objeto de estudo e suas características principais e, também, os caminhos do óleo desde o fornecedor, passando pelas máquinas de usinagem, até seu descarte.

3.1 Escolha do Óleo a Ser Estudado

A primeira etapa do trabalho consistiu na escolha do óleo a ser estudado. Esta etapa foi desenvolvida em conjunto com engenheiros da empresa, baseada na Tabela 3.1, que contém dados aproximados de consumo e de custos dos óleos utilizados na empresa. Os dados desta tabela são aproximados para proteger comercialmente os valores negociados com cada fornecedor de óleo.

Tabela 3.1: Dados aproximados de consumo e custos anuais do óleos refrigerantes utilizados na empresa.

Óleo	Concentração Utilizada	Consumo mensal (L)	Consumo anual (L)	Custo anual
Tellus 68	100%	5800	69600	R\$70.000,00
DMS 340	5%	1650	19800	R\$50.000,00
Super Cent.	4%	220	2640	R\$21.000,00
Ultracut 370	3%	126	1512	R\$18.000,00
p/ têmpera	10%	180	2160	R\$11.000,00
Fluxon D46	5%	180	2160	R\$ 9.000,00
Hobroach 11	100%	185	2220	R\$ 5.000,00
Syntilo XPS	15%	10	120	R\$ 2.000,00

As concentrações indicadas na tabela referem-se às concentrações de utilização do óleo: 100 % de concentração indica que o óleo é utilizado puro e as demais concentrações indicam a concentração de preparação de emulsões em água. Primeiramente, foram descartados os óleos Tellus 68 e Hobroach 11 por serem utilizados diretamente no produto final. Então, dentre os óleos restantes foi escolhido o óleo DMS 340, por ser o óleo de maior consumo e de maior custo anuais.

3.2 Características do Óleo DMS 340 e Identificação dos Pontos de Sua Utilização

A segunda etapa do trabalho foi o levantamento das características do óleo DMS 340 e dos cenários que envolvem sua utilização.

Os dados de características do óleo DSM 340 foram levantados junto à empresa, fornecidos pelo fabricante do óleo:

- Tipo: Óleo de corte semi-sintético;
- Componentes: óleo mineral parafínico refinado, lubrificantes sintéticos, anti-corrosivos e aditivos emulsionados;
- Estado físico: líquido;
- Aparência/odor: âmbar/suave;
- Inflamabilidade: não inflamável;
- Reatividade: evitar agentes oxidantes fortes e ácidos fortes. Não estocar em ambientes abertos;
- Emulsão formada com água é altamente estável;

Foram identificados sete pontos de utilização do óleo: dois tanques onde são preparadas as emulsões a serem utilizadas nos equipamentos, a tubulação de onde provém a água utilizada na preparação da emulsão e quatro tipos de equipamentos de usinagem (torno, furadeira, fresadora e rosqueadeira).

3.3 Bactérias Degradantes do Óleo

Em virtude da empresa possuir conhecimento prévio da degradação do óleo em emulsão por bactérias, partiu-se direto para o estudo destas bactérias. Foram, então, coletadas duas amostras iguais (água ou emulsão) de cada ponto para análises microbiológicas de determinação do tipo de Bactéria no Departamento de Microbiologia da UFRGS. A Tabela 3.2 mostra as bactérias que foram detectadas em cada ponto de possível contaminação.

Tabela 3.2: Bactérias encontradas em cada ponto possível de contaminação da emulsão. Os pontos em que a bactéria foi encontrada estão assinalados com X.

Ponto/ Bactéria	Tanque 1	Tanque 2	Água da fábrica	Torno	Furadeira	Fresadora	Rosqueadeira
<i>Pseudomonas ssp</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Bacillus ssp</i>				X	X		
<i>Micrococcus ssp</i>					X		
<i>Proteus ssp</i>			X				
<i>Staphylococcus ssp</i>					X		

A seguir, estão listadas as principais características de cada bactéria encontrada nos pontos de utilização do óleo (KRIEG, 1984).

3.3.1 *Pseudomonas ssp*

Forma da bactéria: alongada;

Tamanho da bactéria: entre 0,5 e 1,0 μm de diâmetro e 1,5 e 5,0 μm de comprimento;

Necessidade de Oxigênio : Aeróbia obrigatória;

Relação com Temperatura: psicrófilas e mesófilas;

Condições ideais de pH: a grande maioria das espécies falha no crescimento em meio ácido ($\text{pH} < 4,5$);

Tempo de Geração: 35 min.

3.3.2 *Bacillus ssp*

Forma da bactéria: alongada;

Tamanho da bactéria: entre 0,5 e 2,5 μm de diâmetro e 1,2 e 10,0 μm de comprimento;

Necessidade de Oxigênio : Aeróbia facultativa ;

Relação com Temperatura: muito abrangente;

Condições ideais de pH : muito abrangente;

Tempo de Geração: 28 min.

Obs.: As espécies de *Bacillus* possuem a capacidade de formação de esporos.

3.3.3 *Micrococcus ssp*

Forma da bactéria: esféricas;

Tamanho da bactéria: entre 0,5 e 2,0 μm de diâmetro;

Necessidade de Oxigênio : Aeróbia obrigatória (algumas espécies são aeróbias facultativas);

Relação com Temperatura: mesófilas;

3.3.4 *Proteus ssp*

Forma da bactéria: alongadas;

Tamanho da bactéria: entre 0,4 e 0,8 μm de diâmetro e 1,0 e 3,0 μm de comprimento;

Necessidade de Oxigênio : Aeróbia facultativa;

3.3.5 *Staphylococcus ssp*

Forma da bactéria: esféricas;

Tamanho da bactéria: entre 0,5 e 1,5 μm de diâmetro;

Necessidade de Oxigênio : Aeróbia obrigatória (com apenas uma espécie aeróbia facultativa);

Através de uma revisão bibliográfica sobre degradação de óleo por bactéria foi constatado que, dentre as bactérias apresentadas acima, a bactéria que se desenvolve e se reproduz em óleo, através da quebra das cadeias carbônicas de seus constituintes químicos é a *Pseudomonas ssp*. GAO *et al.* (2000), em seu artigo sobre a influência de solos modificados na remoção de óleo diesel e o crescimento da degradação por microorganismos, citam a *pseudomonas* como degradante de óleo e a utilizam em seus experimentos. Os autores salientam sua importância no tratamento da poluição por óleo diesel. Também, GRISHCHENKOV *et al.* (2000) citam a *pseudomonas* como bactéria degradante de óleo e a utilizam em seus experimentos, como descrito no artigo sobre degradação de hidrocarbonetos provenientes do petróleo por bactérias. ATLAS (1995), em seu artigo sobre biodegradação do

petróleo e biorremediação de vazamento de óleo, explicita a *pseudomonas* como uma bactéria importante na degradação de óleo. Então, a *Pseudomonas ssp* passou a ser a bactéria relevante neste estudo da degradação do óleo.

3.3.6 Outros Aspectos sobre a Bactéria *Pseudomonas ssp*

A seguir são relacionadas algumas características do microorganismo de maior interesse neste estudo, a bactéria *pseudomonas* (PELCZAR 1986).

- Não esporulados;
- Geralmente produzem pigmentos solúveis em água, que podem apresentar fluorescência sob luz ultravioleta;
- Bactérias comuns do solo e da água, capazes de contaminar e deteriorar alimentos ricos em proteínas;
- Algumas espécies de *pseudomonas* são importantes agentes patogênicos em plantas e no homem;
- A propriedade fisiológica mais notável destas bactérias é a faixa muito ampla de compostos orgânicos diferentes que podem utilizar como fontes de carbono e energia. Dentre esses compostos estão: álcoois, ácidos, aminoácidos, carboidratos e compostos cíclicos;
- Esta extraordinária versatilidade metabólica exige uma tremenda bateria de enzimas especiais (enzimas indutíveis) .
- Algumas espécies que apresentam temperatura ótima de crescimento entre 20 a 25°C (são psicrófilas) a 55°C são destruídas;
- A degradação aeróbica dos substratos gera CO₂, como produto principal ou único, através do ciclo de Krebs (ciclo do ácido tricarboxílico).

3.4 Fontes de Contaminação por Bactérias

Após a determinação de qual bactéria é responsável pela degradação do óleo e constatado na revisão bibliográfica (PELCZAR 1986, GAO 2000, GRISHCHENKOV 2000, ATLAS 1995 e KRIEG, 1984) de que a *pseudomonas* é comumente encontrada em água, o passo seguinte foi confirmar que a principal fonte de contaminação por esta bactéria é realmente a água proveniente das tubulações (utilizada na preparação da emulsão) e que o ar

ambiente da fábrica onde as emulsões são utilizadas não a contamina. Para tanto foi desenvolvido um experimento que consistiu na preparação de duas emulsões com concentração volumétrica de óleo de 5% em dois recipientes separadamente. No primeiro recipiente (Becker 1), foi preparada emulsão com água destilada, e no segundo (Becker 2), com a mesma água usada na preparação da emulsão utilizada nas máquinas. Esses dois recipientes foram deixados no ambiente da fábrica durante 10 dias e amostras foram coletadas dos dois recipientes no primeiro, terceiro, sexto, oitavo e décimo dia de experimento. Essas amostras foram analisadas no Departamento de Microbiologia da UFRGS (que também indicou o tempo significativo de 10 dias de experimento), sendo o resultado dessas análises demonstrado na Tabela 3.3, onde os valores representam a quantidade de Unidades de Formação de Colônias por mililitro de amostra (UFC/mL):

Tabela 3.3: Experimento de determinação da fonte de contaminação por bactéria. Becker 1: água destilada. Becker 2: água sem tratamento utilizada na fábrica. Valores em UFC/mL.

Dia	1° dia	3° dia	6° dia	8° dia	10° dia
Becker 1	6,00	2,00	2,00	2,00	0,10
Becker 2	18,50	3,00	0,10	32,00	4540,00

Como já citado anteriormente, o tempo de 10 dias é um tempo significativo para este tipo de experimento de crescimento de bactérias. É o tempo suficiente para que uma das duas seguintes situações aconteça: o número de colônias aumente consideravelmente em relação ao número inicial (Becker 2) ou todas (ou quase todas) as bactérias morram (Becker 1). Como o Becker 1, que só poderia ser contaminado por *pseudomonas* via ar da fábrica, ao fim do experimento apresentou apenas traços de contaminação bacteriológica, fica claro que se existe alguma forma de contaminação através do ar da fábrica, não é por bactérias que possam se proliferar no ambiente da emulsão, ou seja são bactérias que não degradam o óleo.

3.5 Reposição da Emulsão nas Máquinas

Todas as máquinas necessitam de reposição de emulsão periodicamente em virtude de ocorrerem perdas de arraste pelos cavacos e limalhas gerados no processo de usinagem e pelo arraste pela própria peça usinada ou, até mesmo, por evaporação da emulsão.

Atualmente a reposição de emulsão é conduzida manualmente pelo operador do equipamento de diversas maneiras: coletando a emulsão já preparada em um dos dois tanques (Figura 3.1) de preparação de emulsão, ou coletando óleo puro em um dos diversos tambores de óleo (Figura 3.2) espalhados pela área com algum tipo de recipiente, como latões ou baldes, e completando o nível do tanque com água coletada de balde ou água diretamente de mangueiras. Nesta última maneira de repor a emulsão, o operador mesmo calibra a concentração de óleo na emulsão sem utilizar nenhum tipo de recipiente graduado.



Figura 3.1: Tanque de preparação de emulsão localizado junto aos equipamentos de usinagem.



Figura 3.2: Tambor de óleo puro localizado junto aos equipamentos de usinagem.

Para que pudesse ser construído um mapa do consumo real da emulsão em todos os equipamentos que a utilizam, foram distribuídos formulários (Apêndice A) para os operadores destes equipamentos. Nestes formulários foram anotadas todas as reposições de emulsão, com data e quantidade de emulsão utilizada. Devido à reposição não ser realizada com auxílio de recipientes graduados, a quantidade volumétrica anotada pelos operadores nos formulários não é precisa e, portanto, não serve para uma análise individual do equipamento mas, uma

análise geral é bem aproximada de dados de saída de estoque do óleo. A informação mais importante constante nestes formulários é a origem do óleo, tanques ou tambor de óleo puro. Com os dados coletados nestes formulários entre os meses de março e abril de 2001, foi construída a Tabela 3.4, correspondente a um período de um mês de coleta de dados.

Tabela 3.4: Dados de consumo total de óleo e da sua origem a partir de informações dos operadores dos equipamentos no período de 30 dias.

Total de óleo utilizado no período	2348,2 L
Média de consumo por equipamento	43,5 L
Volume proveniente dos tanques	559,5 L
Volume proveniente dos tambores	1788,7 L

A partir dos dados da tabela acima, é possível constatar que menos de 25% do óleo utilizado provém dos tanques de preparação de emulsão, o que indica que o caminho da solução do problema não passa só pelo tratamento da emulsão preparada no tanque, mas também por uma reorganização na sistemática da fábrica.

3.6 Consumo Atual do Óleo

A partir de janeiro de 2001, a empresa deu início a um incremento na produção que, conseqüentemente, acarretou em um aumento do consumo de óleo: o consumo médio mensal passou de 2038 L no ano de 2000 para 3020 L no ano de 2001, o que significa um incremento em torno de 50%.

Nas Figuras 3.3 e 3.4 constam gráficos construídos com dados atualizados de produção e consumo de óleo fornecidos pela empresa que ajudarão na melhor compreensão destas variáveis. O consumo de óleo é relacionado à saída de óleo da central de estocagem.

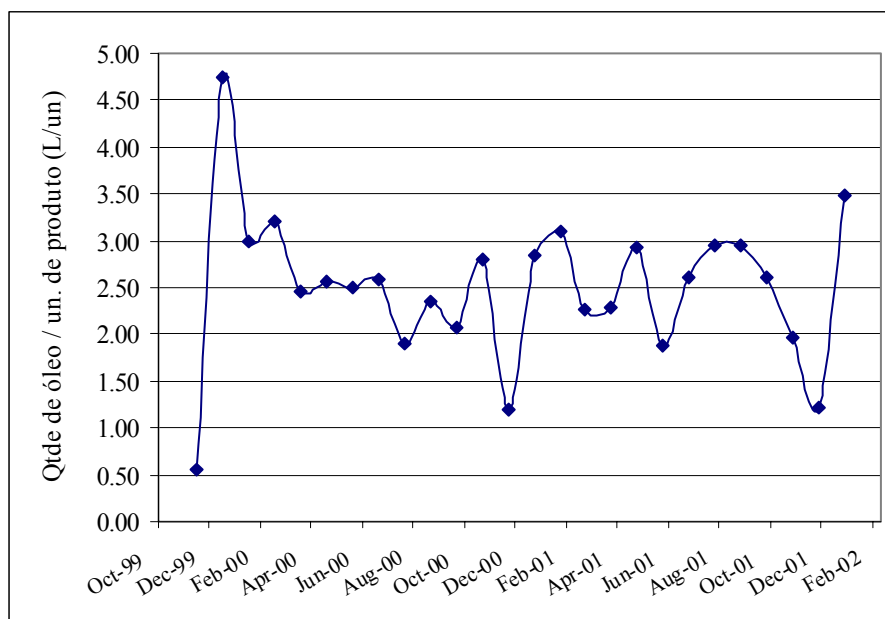


Figura 3.3: Dados da quantidade de óleo utilizada para cada unidade de produto no período de dezembro de 1999 a janeiro de 2002.

Os valores visualizados no gráfico da Figura 3.3 nos meses de dezembro devem-se ao fato de que a cada fim de ano há uma parada na área de produção da fábrica para as férias coletivas dos operadores e, então, a tendência na fábrica é utilizar ao máximo o óleo que já foi retirado do estoque para que não conste no inventário de final de atividades um volume alto de óleo ainda não utilizado.

Os picos visualizados no gráfico da Figura 3.3 nos meses de janeiro são causados pela reposição de emulsão nas máquinas no reinício de atividades após a parada na produção, uma vez que toda a emulsão de cada máquina é descartada na parada. Este descarte de todo o óleo é indispensável porque o mesmo sofre degradação por bactérias que têm sua proliferação facilitada pela parada das máquinas. A reposição de emulsão em todas as máquinas demandar um volume fixo de emulsão e as férias coletivas encurtarem os dias úteis são fatores importantes para um aumento da relação volume de óleo / produção. O que pode amenizar este aumento é uma grande produção no mês de janeiro, que diluiria o efeito do volume de óleo gasto para reposição total de emulsão nas máquinas, como é possível notar no gráfico nos anos de 2001 e 2002.

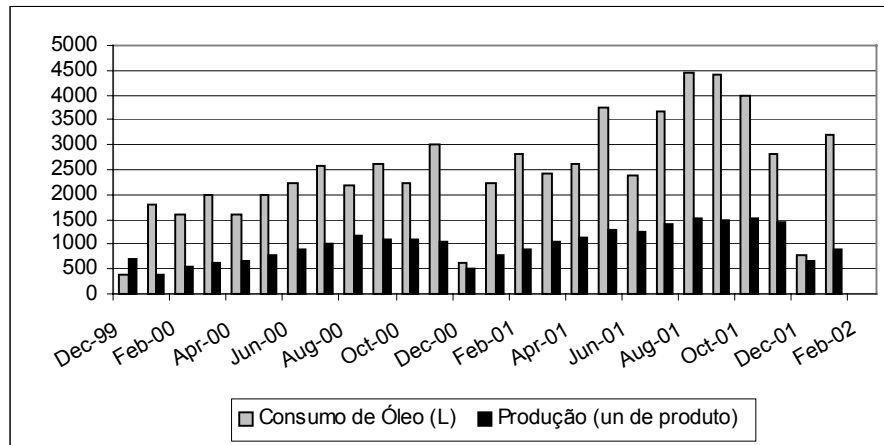


Figura 3.4: Dados de consumo de óleo e de produção no período de dezembro de 1999 a janeiro de 2002.

Analisando o gráfico da Figura 3.4, pode-se constatar dois fatos importantes: o primeiro é o aumento da produção, e conseqüente aumento de consumo de óleo, no ano de 2001 em relação ao ano de 2000. O segundo fato é um aumento de produção nos meses compreendidos entre agosto e novembro nos dois anos, explicado pelo fato de ser a época de plantio da maioria das culturas no Brasil, aumentando a demanda por este tipo de trator.

3.7 Perda de Óleo nos Cavacos e Limalhas

Atualmente, há muita perda de óleo por arraste nos cavacos e limalhas provenientes do processo de usinagem, já que toda limalha e cavacos acumulados nas peneiras são recolhidos em um *container* (Figura 3.5) e mandado para uma siderúrgica, onde são usados como parte da matéria-prima. Esse sistema de descarte acarreta uma perda significativa de óleo e um aumento na geração de resíduos, uma vez que esta emulsão arrastada torna-se resíduo no processo siderúrgico. Além dos problemas de desperdício econômico e ambiental, a tendência é que estas siderúrgicas estabeleçam um volume máximo de emulsão por peso total de resíduo para receberem estas limalhas e cavacos, pois o volume demasiadamente grande de emulsão misturado à matéria-prima leva ao maior consumo de energia no processo e à formação de um volume maior de resíduo siderúrgico.



Figura 3.5: *Container* de recolhimento de cavacos e limalhas.

Capítulo 4

Projeto do Protótipo

Para resolver os problemas constatados no capítulo anterior, foi projetado um protótipo para ser instalado dentro da fábrica com o objetivo de fornecer dados suficientes para verificar se as soluções encontradas são adequadas e se são viáveis. Neste capítulo, então, são descritas as soluções encontradas e o projeto do protótipo.

4.1 Características Requeridas

Resumindo o que foi descrito no capítulo anterior, as seguintes considerações sobre a caracterização do problema podem ser descritas:

- a bactéria degradante do óleo presente na emulsão é a *pseudomonas* e sua origem é a água utilizada na preparação das emulsões;
- apenas 25 % do volume do óleo utilizado na fábrica provém do tanque de preparação prévia de emulsão e 75 % é adicionado puro diretamente nas máquinas de usinagem;
- o consumo do óleo na empresa ultrapassou 36 mil Litros no ano de 2001;
- a perda de óleo por arraste pelos cavacos e limalhas é cada vez maior, a ponto das siderúrgicas que compram estes, não aceitarem mais o índice atual de contaminação por óleo.

O protótipo a ser projetado precisa, então, contemplar as soluções de três problemas básicos: contaminação por bactérias, reposição manual de emulsão e perda de óleo por arraste nos cavacos, com base nas considerações relacionadas acima.

4.2 Esterilização da Água

Como já foi demonstrado no item 3.4 do Capítulo 3, a bactéria degradante do óleo provém da água utilizada na preparação da emulsão. Com esta informação, o problema da proliferação de bactérias passou a ser um problema de esterilização da água utilizada no processo.

Para esterilização da água, foram consideradas cinco alternativas: cloro, membranas, ozônio, tratamento térmico e radiação ultravioleta. A seguir, serão abordadas as principais características de cada técnica.

- Cloro: apesar da eficácia na esterilização das bactérias, o uso de Cloro possui várias desvantagens: a quantidade de cloro envolvida para a esterilização impediria qualquer tipo de descarte via Estação de Tratamento da fábrica; manuseio e armazenamento perigosos pela toxicidade do Cloro; grande tempo de residência necessário para esterilização completa; possibilidade de interferência na qualidade do óleo, uma vez que o Cloro entraria em contato com este; contaminação dos cavacos e limalhas que, posteriormente, são vendidos a empresas siderúrgicas.
- Membranas: alto custo, falta de praticidade e grande tempo necessário ao processo.
- Ozônio: a principal característica desta técnica é a falta de praticidade na sua utilização, uma vez que é preciso armazenar e manusear tanques de Oxigênio para que o uso do ozonizador seja eficiente. Além disso, há possibilidade de resíduos de Ozônio entrarem em contato com o óleo, o que acarretaria em sua oxidação.
- Tratamento Térmico: mesmo tendo sido constatado que a bactéria *pseudomonas* pode ser exterminada a uma temperatura não muito alta (60 – 65 °C), esta alternativa possui duas desvantagens: a primeira é a necessidade de um tanque de resfriamento para a água tratada, já que o óleo refrigerante não poderia entrar no sistema à tal temperatura e a segunda é que neste tipo de tratamento não se pode ter certeza da esterilização dos microorganismos.
- Radiação Ultravioleta: não deixa resíduos que possam alterar a qualidade do óleo, o processo necessita de um tempo de residência mínimo, garante a esterilização de qualquer microorganismo, tem baixo custo de manutenção, não precisa de armazenamento de nenhum tipo de substância, sua utilização e instalação são muito práticas: basta conectar o equipamento à alimentação de água e ligá-lo à rede elétrica e seu acionamento se dá pela passagem da água.

A alternativa escolhida foi a radiação ultravioleta pelo grande número de vantagens que apresenta em relação às outras técnicas.

4.3 Medição da Concentração de Óleo em Emulsão

O primeiro passo para o projeto do sistema de medição de concentração e reposição de óleo consistiu em encontrar uma grandeza de fácil medição que pudesse representar a concentração do óleo na emulsão. Para tanto, foram testadas três grandezas: turbidez, pH e condutividade elétrica.

4.3.1 Testes com turbidez

Foram preparadas 5 soluções com concentrações volumétrica diferentes de óleo: 3%, 4%, 5%, 6% e 7% em balões volumétricos e, posteriormente, estas foram levadas ao turbidímetro AP2000, versão 1.05 previamente calibrado, com medidas em NTU (LIPTÁK, 1995). O experimento foi repetido uma vez para diminuir os erros experimentais. A média dos resultados obtidos com essas medições encontram-se na Figura 4.1.

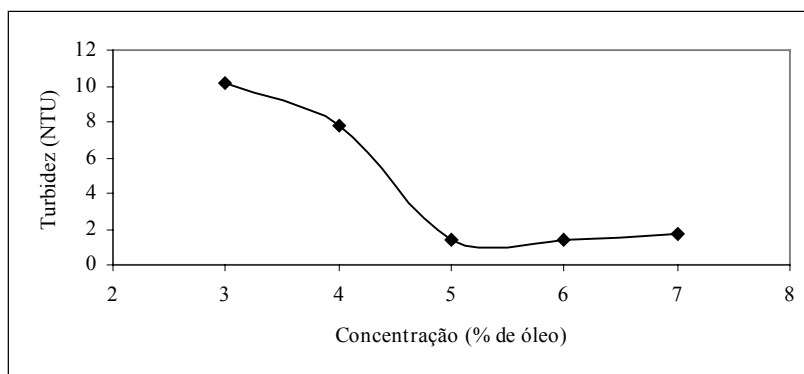


Figura 4.1: Gráfico da relação entre a grandeza turbidez e a concentração de óleo em emulsão.

Como os resultados experimentais, aparentemente, apresentam uma saturação da variável em maiores concentrações, concluiu-se que a grandeza turbidez não é adequada para representar a concentração de óleo em emulsão.

4.3.2 Testes com pH

Novamente, foram preparadas 5 soluções com concentrações diferentes de óleo: 3%, 4%, 5%, 6% e 7% em balões volumétricos e, posteriormente, estas foram levadas ao pHmetro Digimed DM - 20. Os resultados obtidos com essas medições encontram-se na Figura 4.2:

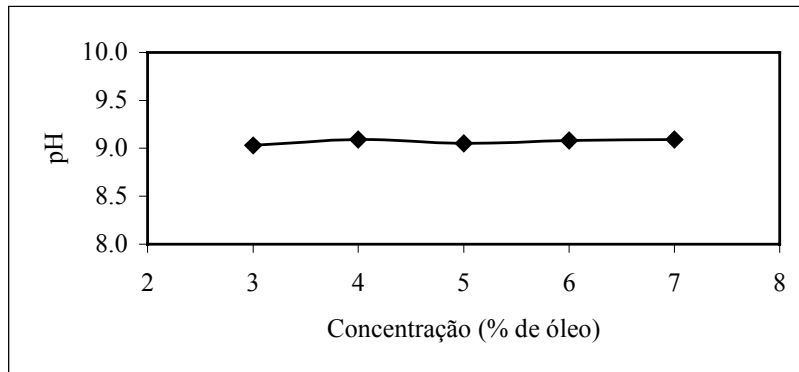


Figura 4.2: Gráfico da relação entre a grandeza pH e a concentração de óleo em emulsão.

Com estes resultados, concluiu-se que pH não é uma variável adequada para representar a concentração de óleo em emulsão, pois não há mudança no valor do pH em relação às mudanças na concentração do óleo, uma vez que as medições encontram-se dentro do erro experimental do medidor.

4.3.3 Testes com condutividade elétrica

Neste experimento, também foram preparadas 5 soluções com concentrações diferentes de óleo: 3%, 4%, 5%, 6% e 7% em balões volumétricos e, posteriormente, estas foram levadas ao condutivímetro Digimed DM – 31, eletrodo DMG 010 M. Os resultados obtidos com essas medições encontram-se na Figura 4.3.

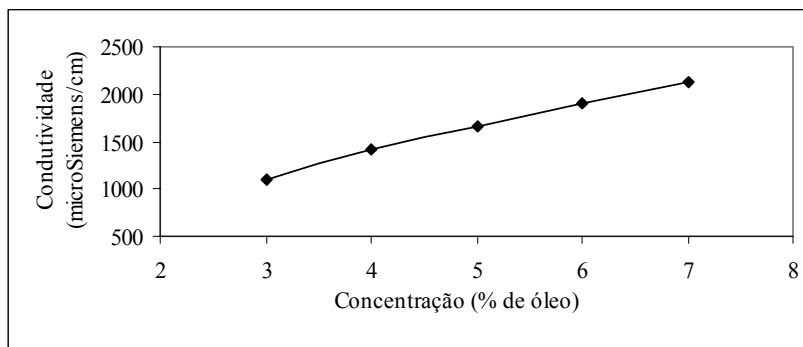


Figura 4.3: Gráfico da relação entre a grandeza condutividade e a concentração de óleo em emulsão.

A partir da análise da Figura 4.3, optou-se pelo uso de condutividade elétrica para representar a concentração de óleo na emulsão. Então, mais um teste foi realizado para verificar se a variação da quantidade de limalha presente na emulsão poderia afetar a condutividade elétrica medida. Neste teste, foi coletada uma amostra de emulsão de uma das máquinas da fábrica e parte desta amostra foi filtrada em papel filtro. A partir das duas

soluções, filtrada e não filtrada, foram feitas 4 diluições, em balões volumétricos de 100 mL, com cada solução da seguinte forma:

- 1ª diluição: 5 mL de água e 95 mL de emulsão;
- 2ª diluição: 10 mL de água e 90 mL de emulsão;
- 3ª diluição: 15 mL de água e 85 mL de emulsão;
- 4ª diluição: 20 mL de água e 80 mL de emulsão.

Foram formadas, então, 5 soluções filtradas e 5 não filtradas, contando com as soluções originais. Estas soluções tiveram sua condutividade elétrica medida em um condutivímetro Digimed DM – 31, eletrodo DMG 010 M e os valores medidos estão representados na Figura 4.4.

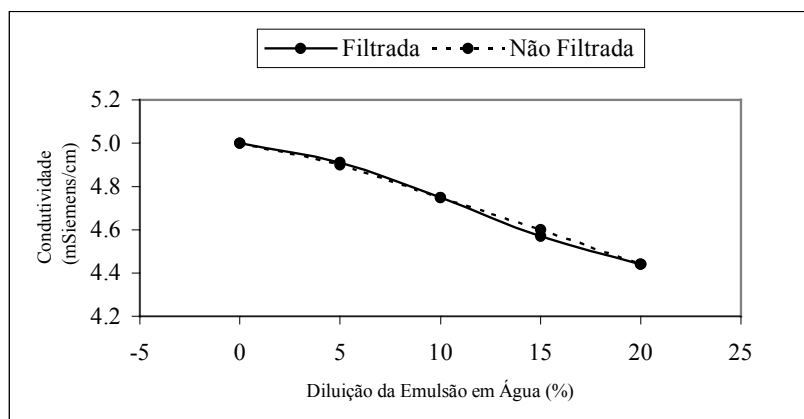


Figura 4.4: Análise do efeito da presença de limalhas na condutividade elétrica da emulsão.

Como as curvas das soluções filtradas e não filtradas são quase idênticas, conclui-se que não haverá problemas na medição de condutividade elétrica para representar a concentração de óleo em emulsão.

4.4 Funcionamento do Protótipo

Para melhor compreensão da descrição do protótipo, foi feito um diagrama simplificado que é apresentado na Figura 4.5 e descritas as três partes essenciais do protótipo

separadamente, a seguir. Todos os equipamentos que compõem o protótipo estão descritos no Apêndice B.

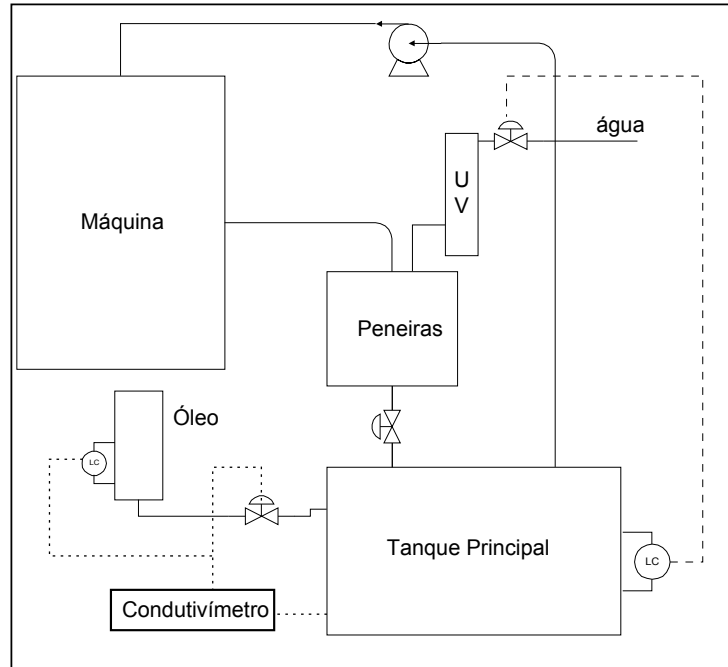


Figura 4.5: Diagrama simplificado do protótipo.

4.4.1 Sistema de esterilização e reposição de água

O sistema de esterilização da água (Figura 4.6) consiste em um equipamento de emissão de radiação ultravioleta, por onde passará toda água que é utilizada pela máquina, garantindo, assim, que toda a emulsão estará isenta da contaminação por bactérias provenientes da água. Na saída deste equipamento está acoplada uma válvula elétrica pela qual é feito o controle da entrada do volume de água necessário para atingir o nível desejado de emulsão no tanque principal. Este nível do tanque principal é medido por um sensor de pressão acoplado a este.



Figura 4.6: Sistema de esterilização da água por radiação ultravioleta.

4.4.2 Sistema de lavagem dos cavacos e limalhas

Este sistema é muito simples, pois consiste em uma peneira acoplada a um tanque que possui apenas um orifício de saída, onde está colocada uma válvula manual tipo gaveta (Figura 4.7). Toda a água que entra no sistema, após passar pelo equipamento de ultravioleta, fica retido neste pequeno tanque, diluindo a emulsão contida nos cavacos que estão sobre a peneira. Em um segundo momento, esta água é liberada manualmente (pela abertura da válvula gaveta) para o tanque principal. Sendo assim, mesmo que a quantidade de solução solução aderida aos cavacos e limalhas seja a mesma, a concentração em óleo é menor.



Figura 4.7: Sistema de peneira/tanque para lavagem dos cavacos.

4.4.3 Sistema de medição de concentração e de reposição de óleo

Após a entrada de água no tanque principal, a emulsão tornou-se mais diluída e faz-se necessária a entrada de um determinado volume de óleo para que a concentração de 5% seja atingida novamente. Para que o volume de óleo necessário seja calculado, é necessário que duas informações sejam conhecidas: a concentração atual da emulsão, medida através da

condutividade elétrica e o volume de emulsão contida no tanque principal, medida através do sensor de pressão acoplado a este. Com base nestas duas informações, o volume necessário de óleo a ser repostado no sistema pode ser calculado.

O sistema de reposição de óleo é composto por um tanque de armazenamento de óleo onde está acoplado um sensor de pressão e uma válvula elétrica na parte inferior deste (Figura 4.8). Calculado o volume de entrada de óleo necessário, a válvula permanecerá aberta durante um tempo suficiente para que este volume de óleo entre no tanque principal, controlado pelo sensor de pressão calibrado para medir volume de óleo no tanque de armazenamento (ver seção 5.1.2 do capítulo seguinte).



Figura 4.8: Tanque de armazenamento de óleo.

4.4.4 Sistemática de funcionamento

Todo dia, ao terminar o dia de trabalho, o operador limpará todos os cavacos acumulados pela máquina levando-os para o tanque de peneira e desligará as bombas que promovem a circulação da emulsão. Após a emulsão ter escorrido totalmente do tanque de peneira, fechará a válvula da saída do mesmo e o sistema de controle de nível do tanque principal será acionado, provocando os seguintes eventos:

- entrada de água passando pelo sistema de esterilização por radiação Ultravioleta, suficiente para completar o nível do tanque principal, que ficará retida no tanque de peneira;
- após alguns minutos, os cavacos e limalhas já estão lavados e o operador abrirá a válvula de saída das peneiras, deixando passar a água até o tanque principal;
- O cavaco e as limalhas lavados ficam sobre a peneira durante a noite, para que resíduos de emulsão diluída ainda possam ser recuperados;
- Pela manhã, o sistema de medição de concentração e reposição de óleo será acionado, levando a concentração da emulsão novamente ao índice desejado de 5% de óleo através da

entrada deste pela abertura da válvula do tanque de armazenamento de óleo diretamente no tanque principal;

- O operador recolherá os cavacos e limalhas, já lavados e esgotados, ao *container* de recolhimento da fábrica.

4.5 Máquina Escolhida

Para testar as soluções propostas, foi escolhida uma máquina de usinagem, dentre as máquinas que utilizam o óleo escolhido para ser estudado (seção 3.1 do Capítulo 3), em que a instalação do protótipo desenvolvido fosse feita. A escolha foi feita pelo próprio engenheiro da fábrica considerando, principalmente, a confiabilidade dos operadores e a proximidade de um Laboratório dentro da fábrica onde pudesse ser instalada a parte computacional do protótipo. A máquina escolhida é uma furadeira (Figura 4.9).



Figura 4.9: Máquina escolhida para instalação do protótipo.

(a) vista frontal (b) vista oposta

Esta máquina é composta, na verdade, por quatro etapas de furadeiras (Figura 4.10), que usinam a mesma peça.

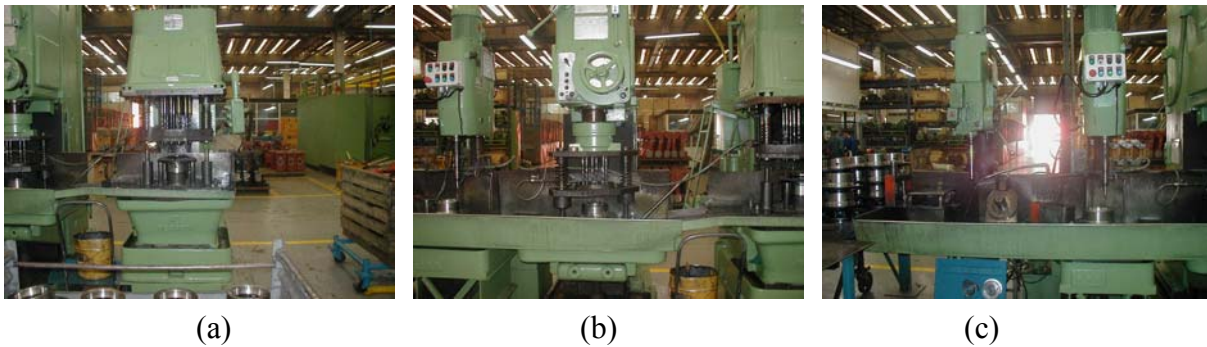


Figura 4.10: Máquina escolhida: quatro etapas de furadeiras. (a) 1ª etapa: furadeira múltipla (b) 2ª etapa: 2ª furadeira múltipla (c) 3ª e 4ª etapas: furadeiras simples

A peça usinada por esta máquina (Figura 4.11) é única em cada trator e é usinada, em série, por mais três máquinas.



Figura 4.11: Peça usinada pela máquina escolhida.

4.6 Resumo da Solução Proposta

O protótipo a ser projetado contemplou as soluções dos três problemas básicos descritos no Capítulo 3: contaminação por bactérias, reposição manual de emulsão e perda de óleo por arraste nos cavacos, considerando as características requeridas relacionadas no início deste capítulo.

Para solucionar a contaminação por bactérias, foi desenvolvido um sistema de esterilização, por radiação ultravioleta, da água utilizada para preparação da emulsão. Para a reposição de emulsão, foi implementada uma malha de controle para reposição automática de

óleo baseada na concentração da emulsão. E, para diminuir a perda de óleo arrastado pelos cavacos, foi desenvolvido um sistema de lavagem dos mesmos com a água de reposição (que será misturada posteriormente ao óleo na preparação da emulsão diretamente no equipamento).

Capítulo 5

Instalação do Protótipo

Este capítulo abrange os temas práticos da instalação do protótipo, como a calibração de cada instrumento de medida e um breve histórico do projeto de controle do protótipo, bem como os *softwares* utilizados.

5.1 Calibração dos Equipamentos Componentes do Protótipo

Os sensores de pressão e as válvulas componentes do protótipo estão conectados aos módulos de aquisição de dados e controle (Apêndice B) e, portanto, estão *on line*. Os sensores possuem saída em corrente elétrica de 4 a 20 mA com leitura direta via computador. As válvulas estão ligadas a relés que abrem ou fecham o circuito elétrico das válvulas, ou seja, fecham ou abrem a válvula, respectivamente, comandados também via computador. O condutivímetro, que não está *on line*, necessita que suas medidas sejam inseridas na programação computacional.

A seguir, será mostrado como foram realizadas as calibrações de cada equipamento para as conversões necessárias às respectivas grandezas de interesse.

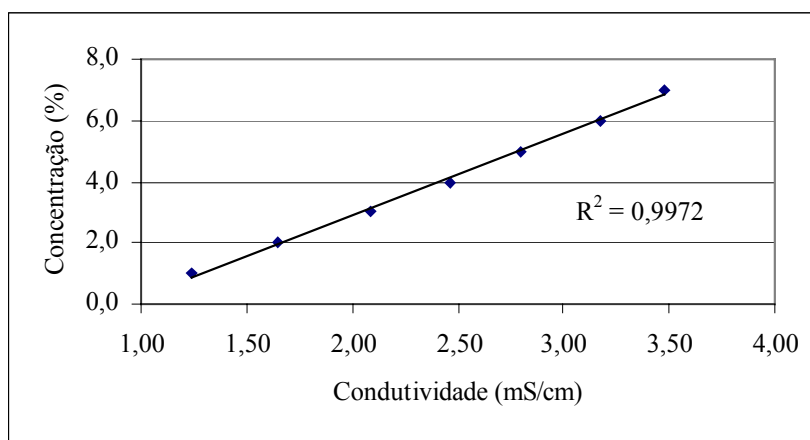
5.1.1 Calibração para a Condutividade Elétrica

Para a conversão da condutividade em relação à concentração, foram preparadas emulsões com diferentes concentrações em base volumétrica entre 1 e 7 % de óleo em emulsão. Em seguida, as condutividades de cada solução foram medidas pelo condutivímetro, construindo uma tabela de pares de dados concentração / condutividade medida pelo equipamento (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Valores de concentração e condutividade utilizados para calibração.

Concentração (%)	1	2	3	4	5	6	7
Condutividade (mS/cm)	1,24	1,65	2,09	2,46	2,80	3,17	3,48

A partir dos dados da Tabela 5.1, foi possível a construção de uma curva de calibração (Figura 5.1).

**Figura 5.1:** Curva de calibração condutividade / concentração.

A equação desta curva é:

$$C = 2,7 C_d - 2,4 \quad (5.1)$$

Onde: C = concentração de óleo na emulsão [% volumétrica]

C_d = condutividade medida [mS/cm]

A influência da temperatura na condutividade elétrica da emulsão também foi testada. O teste consistiu na preparação de uma emulsão com 5 % em volume de óleo e medições de condutividade elétrica desta emulsão a diversas temperaturas entre 10 e 50 °C. O resultado deste teste é que não houve variação significativa nos valores medidos e, então, a influência da temperatura nas medidas de condutividade elétrica será desprezada.

5.1.2 Calibração dos Sensores de Pressão

Os sensores de pressão utilizados neste trabalho são baseados na medição da deformação de uma estrutura conhecida como *strain gauge*. Quanto maior a deformação da estrutura, maior a pressão exercida nela e, portanto, maior nível ou volume de líquido dentro do tanque em que o instrumento está acoplado (LIPTÁK, 1985).

5.1.2.1 Sensor de pressão do tanque principal

Para tal calibração, foi usado um balde de plástico com capacidade para 7 L de volume. A cada dois baldes de água colocados no tanque, era feita uma medida de corrente elétrica medida pelo sensor de pressão. Com estes pares de dados corrente medida/volume de água, foi construída a Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Valores de corrente elétrica e volume utilizados para calibração do sensor de pressão do tanque principal.

Corrente Medida (mA)	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,1
Volume (L)	0	14	28	42	56	70	84	98

Com os dados da Tabela 5.2, foi construída a curva de calibração (Figura 5.2) e, assim, obtida a equação desta curva (equação 5.2).

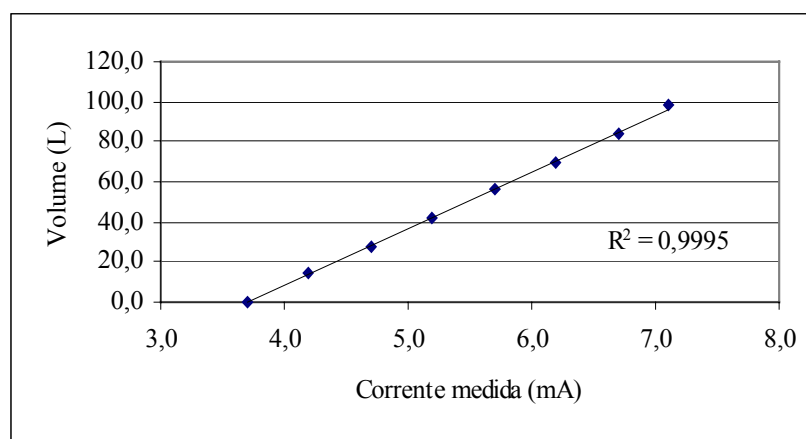


Figura 5.2: Curva de calibração do sensor de pressão do tanque principal com relação ao volume de água.

$$V_t = 28,5 C_o - 106 \quad (5.2)$$

Onde: V_t = Volume de emulsão no tanque principal [L];

Co = Corrente medida [mA].

5.1.2.2 Sensor de pressão do tanque de óleo

Nesta calibração, foi utilizada uma proveta de volume igual a um Litro. O procedimento foi simples: a cada litro de óleo medido na proveta e colocado no tanque, foi registrado o valor da corrente medida correspondente (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Valores de volume de óleo e corrente utilizados na calibração do sensor de pressão do tanque de óleo.

Volume de óleo (L)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15,8
Corrente medida (mA)	5,7	6,6	7,6	8,6	9,6	10,5	11,5	12,4	13,4	14,4	15,3	16,3	17,2	18,2	19,1	19,9

Então, a partir dos dados da Tabela 5.3, foi construída a curva de calibração (Figura 5.3) e extraída a equação desta curva (Equação 5.3).

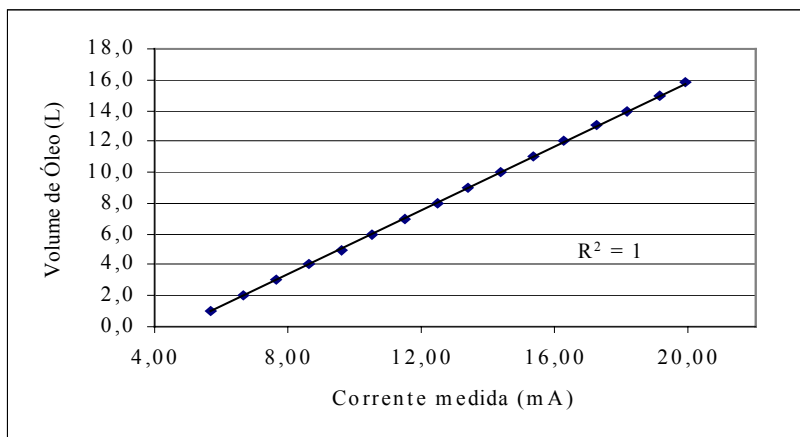


Figura 5.3: Curva de calibração do sensor de pressão do tanque principal com relação ao volume de água.

$$Vo = 1,04 Co - 4,95 \quad (5.3)$$

Onde Vo = Volume de óleo contido no tanque de armazenamento de óleo [L];

Co = Corrente medida [mA].

5.1.2.3 Calibração da entrada de água no sistema

Esta calibração foi realizada com o objetivo de encontrar uma relação entre o tempo e o volume de água, incluindo o tempo de abertura e fechamento da válvula. Foram realizadas oito medidas no total, duas para cada um dos quatro tempos de 15, 20, 25 e 30 segundos, e utilizadas as médias de cada par de medidas (Tabela 5.4). Para a medida de volume foi utilizada uma proveta e para a de tempo, um cronômetro Technos Cronus.

Tabela 5.4: Valores de volume de água e de tempo para calibração da entrada de água.

Tempo (s)	15	20	25	30
Volume de água (L) Medida 1	6,3	8,1	10,0	12,2
Volume de água (L) Medida 2	6,4	8,3	10,2	11,9
Volume de água (L) Média Medidas 1 e 2	6,4	8,2	10,1	12,1

Da mesma forma das calibrações anteriores, foi construído uma curva de calibração (Figura 5.4) e obtida a equação correspondente (Equação 5.4), mostradas a seguir:

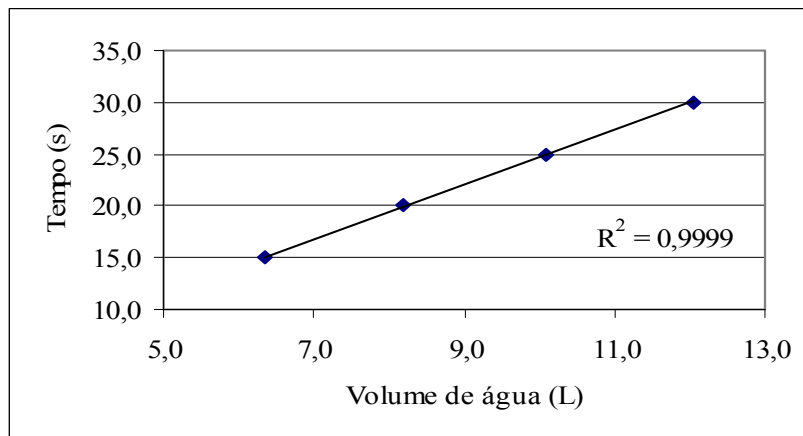


Figura 5.4: Curva de calibração de entrada de água no sistema.

$$t = 2,6 V_a - 1,6 \quad (5.4)$$

Onde: t = tempo necessário para que o volume V_a de água entre no sistema [s];

V_a = volume de água [L].

5.2 Projeto de Controle e Aquisição de Dados

O projeto de controle e aquisição de dados foi desenvolvido no *software* Matlab[®] com auxílio dos *softwares* 7000 Utility, desenvolvido pelo próprio fornecedor dos módulos de aquisição de dados, e MS Visual C++[®] 6.0.

O projeto de controle contém duas malhas fechadas: controle de volume no tanque principal e controle de concentração de óleo na emulsão. Para melhor entendimento deste sistema de controle, consta, na Figura 5.5, o esquema de controle confeccionado no *simulink* do Matlab[®]. Todos os arquivos que fazem parte deste projeto de controle estão no Apêndice C, inclusive os arquivos em linguagem C e a interface entre os *softwares* qaq7000 Utility e Matlab[®]. A seguir, será relatado com maiores detalhes o funcionamento de cada malha.

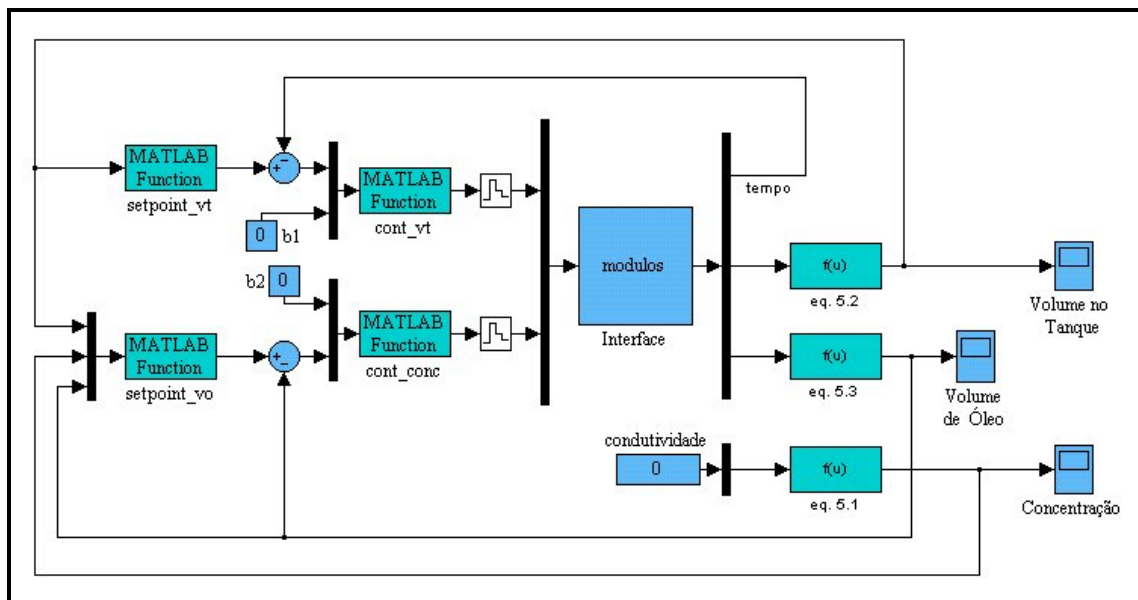


Figura 5.5: Esquema de controle do protótipo confeccionado no *simulink* do Matlab[®].

5.2.1 Malha de controle do volume no tanque principal

Esta malha é formada por duas “matlab *function*” e uma “*f(u)*”. A primeira “matlab *function*” é a *setpoint_vt* que, a partir do único dado de entrada que é o volume de emulsão no tanque principal, e utilizando a equação 5.4, calcula o tempo necessário de abertura da válvula de entrada da água para que o volume de emulsão no tanque chegue ao desejado. A segunda, a *cont_vt*, tem duas entradas: *b1*, que é o “botão” de acionamento da malha, ou seja, se o usuário colocar *b1* igual a zero, a malha fica aberta, com *b1* igual a 1, a malha fica fechada; e o erro, ou seja, a diferença entre o tempo calculado de abertura de válvula e o tempo atual. Com essas duas variáveis de entrada, essa função determina a abertura ou não da válvula de entrada de água do sistema.

5.2.2 Malha de controle de concentração da emulsão

Duas “matlab *function*” e duas “f(u)” compõem esta segunda malha. A “matlab *function*” *setpoint_vo* possui três entradas de variáveis: o volume de emulsão presente no tanque principal, a concentração desta emulsão e o volume de óleo presente em seu tanque de armazenamento. Com estas variáveis de entrada, um novo volume de óleo no tanque de armazenamento é calculado baseado no volume de óleo necessário para alcançar a concentração de 5% na emulsão do tanque principal. A “matlab *function*” *cont_conc* tem duas entradas, a diferença entre o volume calculado e o volume atual de óleo contido no tanque de armazenamento, e *b2*, que é o “botão” de acionamento da malha (como *b1*, já explicado no item anterior). Com essas duas variáveis, esta “matlab *function*” comanda a abertura da válvula de saída do tanque de armazenamento de óleo até que seja atingido o volume calculado na “matlab *function*” *setpoint_vo*, ou seja, a diferença entre os dois volumes seja zero.

As “f(u)” são as próprias equações 5.3 e 5.1, como indicado na Figura 5.5. Sendo que a “f(u)” que contém a equação 5.1 necessita que a condutividade medida, em mS/cm, de uma amostra de emulsão coletada no tanque principal seja inserida em sua “caixa” de entrada.

Capítulo 6

Resultados Experimentais e Estimativa do Impacto Econômico e Ambiental

Neste capítulo, serão apresentados os dados experimentais anteriores e posteriores à instalação do protótipo e suas avaliações. Também será apresentada uma estimativa do impacto econômico e ambiental se o protótipo abrangesse todas as máquinas da fábrica que utilizam o óleo DSM 340.

6.1 Dados Experimentais Anteriores à Instalação do Protótipo

Antes da instalação do protótipo, foi feito um levantamento de dados de operação da máquina escolhida, através de um formulário fornecido ao operador (Formulário A.2, Apêndice A). Neste formulário, foram coletados dados de temperatura, quantidade de água e de óleo repostos separadamente no tanque principal e quantidade de peças produzidas em cada dia durante um período 20 dias úteis de trabalho. A temperatura da emulsão foi medida na própria máquina, junto à ferramenta de usinagem e alcançou uma média, neste período de 22,5 °C. As quantidades de óleo e água repostos e peças produzidas são mostradas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Dados de quantidades de reposição de óleo e de água e de peças produzidas na máquina escolhida antes da instalação do protótipo ao longo de 20 dias úteis.

Dia	Quantidade de óleo (L)	Quantidade de Água (L)	Quantidade de peças produzidas
1	1	18	40
2	1	20	62
3	1	20	77
4	0	0	70
5	1	20	62
6	1	20	71
7	1	20	89
8	1	20	70
9	1	20	75
10	1	20	72
11	1	20	68
12	0	0	32
13	1	20	58
14	1	20	60
15	0	0	66
16	1	20	70
17	1	20	72
18	1	20	40
19	2	20	72
20	1	20	73

Para facilitar a análise dos dados da Tabela 6.1, foi construída a Tabela 6.2, que apresenta as quantidades médias de reposição de óleo e de água, por dia e por peça usinada.

Tabela 6.2: Dados de quantidades médias de reposição de óleo e de água, por dia e por peça usinada anterior à instalação do protótipo.

Quantidade média de óleo repostado por dia útil (mL/dia)	900
Quantidade média de óleo repostado por peça produzida (mL/peça)	13,9
Quantidade média de água repostada por dia útil (mL/dia)	16900
Quantidade média de água repostada por peça produzida (mL/peça)	260,2

6.1.1 Características visuais da emulsão e concentração medida

As impressões sobre a aparência da emulsão (Figura 6.1) foram as seguintes: cor marrom, cheiro forte e aspecto de suja. Essas características devem-se, provavelmente, a uma grande proliferação de bactérias, uma vez que a emulsão após a instalação do protótipo possui características opostas a essas (ver item 6.2).

Um dia antes da instalação do protótipo, foi coletada uma amostra de emulsão, medida sua condutividade e calculada sua concentração volumétrica de óleo, que foi de 18,2 % em volume.



Figura 6.1: Frasco contendo uma amostra de emulsão coletada na máquina escolhida um dia antes da instalação do protótipo.

6.2 Resultados Experimentais da Instalação do Protótipo

Os primeiros dados a serem apresentados serão, como apresentado anteriormente, quantidades de óleo e de água repostos e de peças produzidas ao longo dos 12 dias úteis de trabalho em que os dados foram coletados (Tabela 6.3). É importante salientar que a média de temperatura ao longo dos dias de coleta de dados foi de 30°C, sendo esta temperatura mais favorável ao crescimento bacteriano que a temperatura de 22,5 °C em que foram coletados os dados anteriores à instalação do protótipo.

Tabela 6.3: Dados de quantidades de óleo e de água repostos e de peças produzidas na máquina escolhida após a instalação do protótipo ao longo de 12 dias úteis.

Dia	Quantidade de óleo reposta (L)	Quantidade de água reposta(L)	Quantidade de peças produzidas
1	0	39,9	45
2	0	33,6	50
3	0	33,9	50
4	0	19,4	40
5	0	31,0	56
6	0	36,2	67
7	0,8	25,9	70
8	0,7	25,9	24
9	0	26,5	75
10	0	16,8	40
11	0,7	28,5	70
12	0,6	23,1	70

Para melhor compreensão da Tabela 6.3, foram calculadas as quantidades médias de óleo e de água repostos por dia e por peça usinada, compondo a Tabela 6.4 apresentada a seguir.

Tabela 6.4: Dados de quantidades médias de reposição de óleo e de água, por dia e por peça usinada posterior à instalação do protótipo.

Quantidade média de óleo repostado por dia útil (mL/dia)	233,3
Quantidade média de óleo repostado por peça produzida (mL/peça)	4,3
Quantidade média de água repostada por dia útil (mL/dia)	27558,3
Quantidade média de água repostada por peça produzida (mL/peça)	503,3

Outros dados importantes coletados foram as concentrações da emulsão no início e no final de cada dia (Tabela 6.5) e as quantidades médias de emulsão recuperada pelo simples fato de deixar os cavacos e limalhas durante a noite sobre a peneira e de óleo recuperado na lavagem dos cavacos e limalhas (Tabela 6.6).

Tabela 6.5: Dados de concentração da emulsão no início e no final do dia (os valores em negrito correspondem aos dias que houve reposição de óleo).

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Concentração no início do dia (% volumétrica)	5,0	5,4	5,5	5,4	5,9	5,2	5,0	5,0	5,1	4,5	5,0	5,0
Concentração no final do dia (% volumétrica)	6,5	6,6	6,5	6,1	6,4	5,8	5,2	5,7	5,2	4,7	5,2	5,1

Como pode ser observado na Tabela 6.5, no 10º dia não foi repostado óleo mesmo com a concentração sendo inferior a 5%. Isto deveu-se ao esquecimento de deixar a concentração previamente calibrada para o dia extra de trabalho no sábado.

Tabela 6.6: Quantidades médias de emulsão recuperada durante a noite e de óleo recuperada na lavagem dos cavacos e limalhas.

Quantidade de emulsão recuperada (mL/noite)	3900
Quantidade de óleo recuperada (mL/lavagem)	882

6.2.1 Características visuais da emulsão

As impressões da emulsão (Figura 6.2) com o protótipo em funcionamento são as seguintes: límpida, transparente, cheiro normal de óleo, ou seja, com as mesmas características de uma emulsão recém preparada.



Figura 6.2: Frasco contendo uma amostra de emulsão coletada na máquina escolhida após a instalação do protótipo.

6.3 Estimativa dos Impactos Econômico e Ambiental

Para esta estimativa, alguns dos aspectos considerados serão o número de descartes totais de emulsão e o volume de óleo gasto em reposição. Um dado importante para esta análise é a estimativa da concentração da emulsão que vem sendo utilizada nas máquinas. Para tal estimativa, foram coletadas aleatoriamente amostras de emulsão em dez máquinas diferentes e medidas suas concentrações de óleo. Esses dados de concentração de óleo nas emulsões são demonstrados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Concentrações de óleo medidas em emulsões de máquinas escolhidas aleatoriamente.

Máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentração (% de óleo)	26,1	28,4	22,3	23,6	16,7	20,4	17,5	23,0	21,2	18,1

Calculando-se a média de concentração a partir dos dados da Tabela 6.7, obtém-se 21 %, que será um dado importante nas estimativas descritas a seguir.

A seguir, constam as estimativas de cada item que pode ser otimizado pela abrangência do protótipo em todas as máquinas que utilizam o óleo DSM 340.

6.3.1 Quanto à degradação por bactérias

É possível observar visualmente, através da comparação das amostras coletadas antes e depois da instalação do protótipo (Figuras 6.1 e 6.2), que parece não haver mais degradação por bactérias ou, pelo menos, esta é bem menor, pelas características já citadas nos itens 6.1.1 e 6.2.1. Esta análise tornou-se fácil por já ser conhecido pela empresa que a degradação por bactérias tornava a emulsão com cheiro forte, cor marrom e aspecto de sujo. Inclusive são estas características visuais e olfativas que, quando acentuadas, determinam o descarte total da emulsão, uma lavagem da máquina com bactericida e uma nova carga de emulsão “limpa”.

Outra análise, também importante, é o aumento da durabilidade do óleo, ou seja, a diminuição da quantidade de descartes totais de emulsão, inclusive o descarte da parada de fim de ano para férias coletivas. Mas esta análise torna-se complexa, pois para coleta de tais dados, a demanda de tempo necessária seria imensa e desconhecida. Poderiam ser meses ou anos de espera até que fosse necessário um descarte total de emulsão.

Estimando as perdas com descartes, considera-se que todas as máquinas que utilizam o óleo em estudo - ao todo são 62 em funcionamento - fazem pelo menos um descarte de toda emulsão por ano, referente à parada da produção para férias coletivas dos operadores. Além deste descarte comum a todas as máquinas, as máquinas ainda fazem mais 1, 2 ou 3 descartes ao ano. A partir destas informações, considerar-se-á : que 31 máquinas fazem dois descartes por ano, 24 máquinas fazem três descartes por ano e 7 máquinas fazem quatro descartes por ano. Considerando que o tanque principal de cada máquina possui, em média, um volume de 80 L, foi possível estimar as perdas por descarte, apresentadas na Tabela 6.8.

Tabela 6.8: Dados estimados de volume de emulsão descartado.

Número de descartes	Quantidade de máquinas	Volume Total Descartado (L/ano)
2 desc./ano	31	4960
3 desc./ano	24	6760
4 desc./ano	7	2240
TOTAL		12960

A quantidade estabelecida na Tabela 6.8 de 12960 L de emulsão significa, considerando 21 % de concentração volumétrica de óleo, significa 2721,6 L de óleo. Estimando-se que, com a implantação do protótipo, os descartes de todas as máquinas passariam a ser bienais, a média anual de descarte com protótipo seria de 62 máquinas multiplicado pelo volume médio do tanque de 80 L e dividido por dois (por ser bienal): 2480 L, que correspondem a um volume de óleo de 124 L, considerando a concentração volumétrica de 5 %. Calcula-se uma diferença entre o total descartado sem protótipo e com

protótipo de 10480 L de emulsão e de 2597,6 L de óleo anuais. O valor anual de economia de óleo, considerando o preço de R\$ 2,60 por Litro, seria em torno de R\$ 6750,00.

6.3.2 Quanto à reposição de óleo

Quanto à reposição de óleo, a avaliação de resultados pode ser feita através da comparação das Tabelas 6.2 e 6.4, juntamente com o dado de temperatura média ao longo dos dias de coleta de cada conjunto de dados. O resultado mais expressivo é a minimização da quantidade de óleo repostado, que passou a ser 3,2 vezes menor após a instalação do protótipo, em relação à quantidade de óleo gasta por peça usinada. Esta minimização ocorreu, principalmente, pelo fato da emulsão concentrar-se em óleo ao longo do dia de trabalho (como é mostrado na Tabela 6.5), o que não era uma informação conhecida pela empresa ou pelos operadores. Mesmo que o operador repusesse água e óleo na proporção indicada, a emulsão continuaria a concentrar-se. A explicação mais plausível para esta concentração da emulsão ao longo do dia seria a evaporação de água em maior quantidade do que de óleo, devido ao aumento de temperatura provocado pelo atrito da ferramenta da máquina com peça usinada.

Quanto às perdas por reposição indevida do óleo, sabendo-se que a concentração de trabalho atualmente é 3,2 vezes maior que a determinada como ótima, haveria uma economia direta nos gastos nesta mesma ordem. No último ano foram gastos 37200 L de óleo na fábrica, entre reposição diária e reposição devido ao descarte total. De acordo com o item anterior, os descartes foram estimados em 12960 L de emulsão, que seriam repostos com concentração de 5%, alcançando um total de 648 L de óleo. Subtraindo este volume de óleo do total gasto no ano anterior, chega-se a quantidade de 36552 L de óleo gastos em reposição diária. Se com a instalação do protótipo é possível gastar 3,2 vezes menos volume de óleo de reposição, a economia seria de 25129 L de óleo, ou seja, em torno de R\$ 65336,00.

Outra avaliação importante é a comparação dos dados de quantidade de água repostada e de temperatura. Na temperatura média de 22,5 °C, antes da instalação do protótipo, foi gasta a metade da quantidade em volume de água para reposição do que trabalhando na temperatura média de 31 °C, depois da instalação do protótipo. Esta diferença não se deve à instalação do protótipo, mas sim à diferença das temperaturas médias de trabalho. Quanto maior a temperatura ambiente, maior a temperatura da emulsão que passará pela peça usinada e a ferramenta e, conseqüentemente, maior quantidade de emulsão evaporada. Sendo assim, atualmente na fábrica, quanto maior a temperatura ambiente, maior é a concentração de óleo nas emulsões pois maior é a reposição de água e, como a reposição de água não é baseada na análise de concentração, toda a adição de água é acompanhada pela adição de óleo, provocando um aumento de concentração.

6.3.3 Quanto à perda de óleo por arraste nos cavacos e limalhas

Para avaliação das perdas de óleo por arraste pelos cavacos e limalhas, é suficiente a análise da Tabela 6.6, que mostra que a passagem da água pela peneira, que contém os cavacos e limalhas acumulados ao longo do dia, recupera em média 482 mL de óleo por dia. Outro dado importante, também contido na Tabela 6.6, é o volume de líquido recuperado por deixar os cavacos e limalhas “peneirando” durante a noite: em média 3900 mL por noite.

Estimando 25 dias úteis de trabalho por mês, em um ano, descontando as férias coletivas, são aproximadamente 280 dias úteis. Então, o óleo recuperado com a lavagem, em um ano, atinge uma quantidade de 135 L e de emulsão, 1092 L. E, levando-se em consideração, que são 62 máquinas, no total serão economizados 8367 L de óleo e 67704 L de emulsão deixariam de ser descartados.

6.3.4 Resumo da estimativa do impacto econômico e ambiental

Para melhor avaliação do impacto econômico e ambiental de uma abrangência do protótipo a todas as máquinas que utilizam o óleo DSM 340, um resumo das estimativas apresentadas nos itens anteriores é exposto na Tabela 6.9.

Tabela 6.9: Resumo da estimativa anual do impacto econômico e ambiental.

Minimização do volume de resíduo contaminado de óleo	78.184 L
Minimização do volume de resíduo de óleo	36.093 L
Minimização dos gastos com compra de óleo	R\$ 93.840,00

Analisando a Tabela 6.9, conclui-se que a implementação das soluções descritas neste trabalho a todas as máquinas de usinagem que utilizam o óleo DSM 340, acarretará em uma importante diminuição do impacto ambiental de todo o processo, pois o volume de 130.142 L de resíduo contaminado por óleo solúvel é bastante significativo. Além disso, estão ocorrendo vários problemas na estação de tratamento da fábrica, uma vez que não é conhecido a percentagem real das emulsões descartadas.

Capítulo 7

Conclusões e Sugestões

Neste capítulo, as conclusões de todo o trabalho desenvolvido serão apresentadas juntamente com sugestões de trabalhos futuros dentro do mesmo projeto.

7.1 Conclusões

7.1.1 Os três problemas principais foram solucionados com a instalação do protótipo

Os três problemas principais, abordados no Capítulo 3, degradação por bactéria, reposição de emulsão e arraste de óleo pelos cavacos e limalhas, foram solucionados com a instalação do protótipo. Em outras palavras, os princípios teóricos de cada solução, esterilização da água de entrada com radiação ultravioleta, a reposição de óleo automatizada baseada na medição da concentração de óleo e a lavagem dos cavacos e limalhas pela passagem da água de entrada do sistema foram testados experimentalmente e consolidados.

7.1.2 O sistema de esterilização da água por radiação ultravioleta é plenamente satisfatório

O sistema de esterilização da água por radiação ultravioleta para eliminação da degradação da emulsão pelas bactérias, além de ser de instalação e manutenção muito simples, é plenamente satisfatório a sua utilização pois atingiu o objetivo de diminuir a degradação de bactérias, uma vez que foi constatado a sua eficiência com a comparação entre a emulsão antes da instalação e a emulsão depois da instalação do protótipo.

7.1.3 A condutividade elétrica é uma boa alternativa para a medição da concentração de óleo em emulsão

A condutividade elétrica mostrou ser uma boa alternativa para a medição da concentração de óleo em emulsão já que pôde-se controlar a concentração de forma fácil e precisa.

7.1.4 A lavagem dos cavacos e limalhas e o esgotamento dos mesmos durante a noite são muito eficientes

A lavagem dos cavacos e limalhas com a água de entrada do sistema, juntamente com o ato de deixá-los esgotando durante a noite, revelou-se muito eficiente na recuperação de óleo. Além disso, esta solução não carece de investimento algum, apenas uma mudança na ordem do trabalho do dia-a-dia do operador.

7.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

- 1) Monitorar as concentrações de óleo nas emulsões de todas as máquinas que utilizam o óleo DSM 340 no início e no final de cada dia útil de trabalho para constatar se todas as máquinas concentram óleo ao longo do dia e em que taxa de concentração;
- 2) Fazer um estudo quali e quantitativo, ao longo de diferentes estações climáticas, da influência da temperatura ambiente da fábrica na concentração da emulsão ao longo do dia;
- 3) Estudar vários projetos para instalação das propostas do protótipo em toda a fábrica, incluindo a viabilidade econômica e prática, como o tempo de retorno do investimento de cada projeto a ser estudado;
- 4) Conscientização dos operadores da importância da minimização de gastos com óleo refrigerante e incentivá-los a tomar alguns atos simples, como deixar os cavacos e limalhas, acumulados ao longo do dia, esgotando durante a noite para ser recolhido no início do dia seguinte e, também, repor a água passando-a pelos cavacos e limalhas para uma lavagem destes;
- 5) Estudar as conseqüências da passagem da emulsão pelo equipamento de emissão de radiação ultravioleta para eliminar a proliferação de bactérias diretamente na emulsão;
- 6) Verificar as possibilidades da abrangência deste projeto às máquinas que utilizam outros tipos de óleo refrigerante que não o óleo já estudado (DSM 340);

- 7) Desenvolvimento de interfaces gráficas com usuário que permitam a fácil visualização do sistema de controle do protótipo, possibilitando ao próprio operador o gerenciamento do sistema.

Apendice B

Equipamentos Componentes do Protótipo

Condutivímetro

- Fornecedor: Digimed;
- Modelo: DM-3
- Constante de célula: 1 cm-1;
- Tipo de célula: Platina;



Figura B.1: Condutivímetro Digimed DM-3.

Sensores de Pressão

- Fornecedor: Rematel;
- Saída 4 a 20 mA;
- Haste diâmetro 6 x 200 mm;
- Rosca 1/2 BSP cabeçote de ligação.



Figura B.2: Sensor de pressão.

Módulos de Aquisição de Dados e Controle

LR-7017 MODULO A/D DE 8 ENTRADAS ANALOGICA

- Fornecedor: LR Informática;
- Módulo analógico de entrada de 8 canais para tensão ou corrente (baixo ganho);
- Tipos de entrada: tensão e corrente;
- Número de canais de entrada analógicos: 6 canais absolutos e 2 canais diferenciais ou 8 canais absolutos selecionados por chave;
- Faixa de entrada: $\pm 150\text{mV}$, $\pm 500\text{mV}$, ± 1 , ± 5 , $\pm 10\text{ V}$ e $\pm 20\text{ mA}$;
- Precisão de 0.1% ou melhor com conversor A/D de 16 bits;
- Taxa de amostragem de 4Hz;
- Proteção contra sobretensão: $\pm 35\text{ V}$;
- Tensão de Isolação: 3kV;
- Alimentação: 12 a 30VDC;
- Consumo máximo: 2W.



Figura B.3: Módulo de entradas analógicas.

LR-7520 CONVERSOR RS-232 PARA RS-485 OPTOISOLADO

- Totalmente transparente para os dispositivos de envio e recebimento;
- Conector DB-9 para RS-232;
- Velocidades de até 115kbps em 1.2km;
- Distância máxima de comunicação em 115kbps: 1.2km;
- Tensão de isolamento: 3kV;
- Controle de fluxo de dados de envio automático, sem necessidade de RTS com a nova tecnologia "Self Tuner";
- Qualquer tipo de dados na rede: 12, 11 ou 10 bits e qualquer velocidade padrão. Podem ser simultâneos;
- Especificação de “fan-out” aceitando até 256 dispositivos na mesma rede RS-485 ou 2048 com repetidor LR-7510;
- Tecnologia “self-tuner”, sem chaves para escolha de velocidade e formato de dados;
- Novo padrão de conversores RS-485 industriais “plug-and-play”;
- Alimentação: 12 a 30VDC inclusa;
- Consumo máximo: 2.2W.



Figura B.4: Módulo conversor.

LR-7042 MODULO DIGITAL OPTOISOLADO DE SAIDA A RELÉ

- Módulo de saída digital a relé eletromecânico;
- Número de canais digitais de saída baseados em relé: 7;
- 7 relés tipo A (SPST-C, NA);
- Chaveamento: 125@0.6A ou 30VDC@2A;
- Tensão de rompimento: 1500VAC (50/60Hz);

- Consumo máximo: 0.8W.



Figura B.5: Módulo de saída digital.

Equipamento de Esterilização por Ultravioleta

- Vazão Máxima: 25 L/min;
- Material de Construção: Polipropileno cinza, revestido internamente de Aço Inox AISI 316 L;
- Comprimento Aproximado: 90,5 cm;
- Largura Aproximada: 7,5 cm;
- Conexões de Entrada e Saída: 1” ;
- Pressão Máxima Admissível: 2 Kgf/cm² ;
- Voltagem: 220 V.
- Lâmpada Germicida Slim-Line
- Potência: 39 W;
- Corrente: 425 mA;
- Potência em UV: 13,8 W;
- Comprimento de Onda: 254 nm
- Comprimento: 84,2 cm;
- Vida Útil Aproximada: 5000 h.

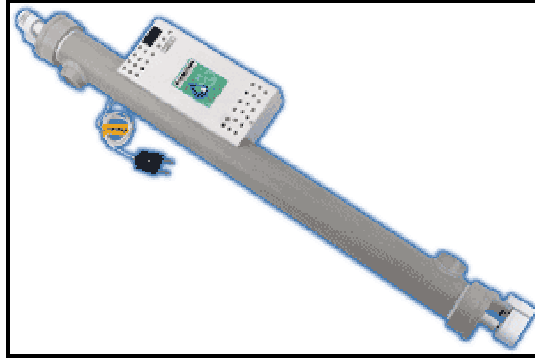


Figura B.6: Equipamento de emissão de radiação ultravioleta.

Válvula de Controle

- Conexões de saída e entrada de ½”;
- Válvula elétrica;
- Fonte de 110 V;



Figura B.7: Válvula de controle.

Válvula Gaveta

- Conexões de entrada e saída de 1”.



Figura B.8: Válvula Gaveta.

Tanques de Aço

- Dimensões do tanque principal: altura: 21cm; largura: 73 cm; profundidade: 42 cm



Figura B.9: Tanque principal.

- Dimensões do tanque com peneira: altura: 22cm; largura: 55 cm; profundidade: 40 cm



Figura B.10: Tanque com peneira.

Apêndice C

Programas em Matlab[®] e em C ++

Matlab Function Setpoint_vt

```
% função de cálculo do tempo necessário de abertura de válvula para alcançar o
setpoint do volume no tanque principal
% dez/2001
% Gabriela Straatmann
```

```
function t_novo = setpoint_vt(V)
```

```
% setpoint volume
set_vol=90; %L
```

```
% cálculo do volume que falta para chegar ao setpoint
d_v=set_vol-V;
```

```
% cálculo do tempo de abertura de válvula
t_novo=2.6*d_v-1.6; %s
```

Matlab Function Setpoint_vo

```
% função de cálculo do novo volume no tanque de óleo
% para calibração da concentração
% dez/2001
% Gabriela Straatmann
```

```
function vo_novo = setpoint_vo(V,conc,volumeoleo)
```

```
% cálculo do volume de óleo presente na emulsão
V_oleo=V*(conc/100);
```

```
% cálculo do volume de água
V_agua=V-V_oleo;
```

```
% cálculo do volume necessário de óleo para alcançar concentração de 5%
V_oleo_novo=0,05*V_agua/0.95;
```

```
% cálculo do delta de volume de óleo necessário para alcançar concentração de 5%
d_vo=V_oleo_novo-V_oleo;

% cálculo do novo volume no tanque de óleo

vo_novo=max(volumeoleo)-d_vo;
```

Matlab Function Cont_vt

```
% função para abertura e fechamento da válvula de entrada
%       de água
% dez/2001
% Gabriela Straatmann

function valv_1 = cont_vt(e1,b1)

% e = erro = t_novo - t
if b1 == 1,
    if e1>0,

        valv_1 = 1;

    elseif e1<=0,

        valv_1 = 0;

    end

elseif b1 == 0,

    valv_1 = 0;

end
```

Matlab Function Cont_Conc

```
% função para abertura e fechamento da válvula de saída
%       do tanque de óleo
% dez/2001
% Gabriela Straatmann

function valv_2 = cont_conc(b2,e2)

% e2= vo_novo - vo
if b2 == 1,
    if e2>0,

        valv_2 = 1;

    elseif e2<=0,

        valv_2 = 0;

    end

elseif b2 == 0,

    valv_2 = 0;

end
```

S-Function lr_mex

```

% função para leitura dos valores dos sensores de pressão e de tempo e para envio
    de comando para as válvulas solenóides
% outubro/2001
% Vinícius

function [sys,x0,str,ts] = lrteste(t,x,u,flag,dt)
%Interface Módulos LR7000 com Matlab/Simulink
%Open_lr(2);
%Close_lr(2);
persistent time0;

if abs(flag) == 2 % flag = 2 --> real time hit

    %Válvulas Solenóides
    DIGI(2,u(1));
    DIGI(2,u(2));

    while etime(clock,x')<dt; end
    sys = clock;

elseif flag == 4

    sys = [];

elseif flag == 0 %flag = 0 --> Return sizes of parameters and initial
conditions
    sys(1) = 0; %Estados contínuos
    sys(2) = size(clock,2); %enough discrete states to hold the clock
    sys(3) = 3; %number of outputs
    sys(4) = 2; %number of inputs
    sys(5) = 0; %0 roots
    sys(6) = 0; %no direct feedthrough
    sys(7) = 1; %numero de sample time

    x0 = clock;
    time0 = 60*(60*x0(4)+x0(5))+x0(6);

    ts =[dt, 0];

elseif flag == 3 % Leitura dos valores analógicos instantâneos

    sys(1) = 60*(60*x(4)+x(5))+x(6)-time0;
    sys(2) = u(1);
    sys(3) = u(2);
    sys(2) = ANALOG(1);
    sys(3) = ANALOG(0);

else
    sys = [];
end

```

open_comlr.cpp

```

#include <windows.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include "I7000.h"
#include <stdlib.h>

```

```

//#undef NO_ERROR
#include "mex.h"
#define WIN32_LEAN_AND_MEAN

void mexFunction( int nlhs, mxArray *plhs[], int nrhs, const mxArray *prhs[])
{
    char cport;
    plhs[0] = mxCreateDoubleMatrix(1,1,mxREAL);
    cport = mxGetScalar(prhs[0]);
    Open_Com(cport,9600,8,0,0);
}

```

closecomlr.cpp

```

#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <windows.h>
#include "mex.h"
#include "I7000.h"
//#define WIN32_LEAN_AND_MEAN

void mexFunction( int nlhs, mxArray *plhs[], int nrhs, const mxArray *prhs[])
{
    char cport;
    plhs[0] = mxCreateDoubleMatrix(1,1,mxREAL);
    cport = mxGetScalar(prhs[0]);
    Close_Com(cport);
}

```

digitaloutlr.cpp

```

#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <windows.h>
#include "mex.h"
#include "I7000.h"

void mexFunction( int nlhs, mxArray *plhs[], int nrhs, const mxArray *prhs[])
{
    WORD w7000[9];
    float f7000[1];
    char szSendTo7000[1];
}

```

```

char szReceiveFrom7000[1];
plhs[0] = mxCreateDoubleMatrix(1,1,mxREAL); //canal
plhs[1] = mxCreateDoubleMatrix(1,1,mxREAL); //valor
w7000[0] = 2; // RS-232 port number: 1/2/3/4
w7000[1] = 0x08; // module address: 0x00 to 0xFF
w7000[2] = 0x7042; // module ID: 0x7050/60/63/65/66/67/42/43/44
w7000[3] = 0; // checksum: 0=disable, 1=enable
w7000[4] = 100; // TimeOut constant: normal=100
w7000[5] = 0; // don't care
w7000[6] = 0; // flag: 0=no save, 1=save send/receive string
w7000[7] = mxGetScalar(prhs[0]); // which channel to output
w7000[8] = mxGetScalar(prhs[1]); // data to output (0 or 1)
DigitalBitOut(w7000, f7000, szSendTo7000, szReceiveFrom7000);
}

```

analoInlr.cpp

```

#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <windows.h>
#include "mex.h"
#include "I7000.h"
void mexFunction( int nlhs, mxArray *plhs[], int nrhs, const mxArray *prhs[])
{
    WORD w7000[7];
    float f7000[12];
    double *f7;
    char szSendTo7000[1];
    char szReceiveFrom7000[1];
    w7000[0] = 2; // RS-232 port number: 1/2/3/4
    w7000[1] = 0x05; // module address: 0x00 to 0xFF
    w7000[2] = 0x7017; // module ID: 0x7050/60/63/65/66/67/42/43/44
    w7000[3] = 0; // checksum: 0=disable, 1=enable
    w7000[4] = 100; // TimeOut constant: normal=100
    w7000[5] = mxGetScalar(prhs[0]); // channel
    w7000[6] = 0; // flag: 0=no save, 1=save send/receive string
    AnalogIn(w7000, f7000, szSendTo7000, szReceiveFrom7000);
    plhs[0] = mxCreateDoubleMatrix(1, 1, mxREAL);
    f7 = mxGetPr(plhs[0]);
    f7[0] = f7000[0];
}

```


Referências Bibliográficas

- ATLAS, R.M., Petroleum Biodegradation and Oil Spill Biorremediation, *Marine Pollution Bulletin*, v. 31, p. 178-182, 1995.
- BERNARDES, A. M., DALLA COSTA, V. L. V., FALLAVENA, M. A. S., RODRIGUES, M. D. , FERREIRA, J.Z., Eletrochemistry as a Clean Technology for the Treatment of Effluents: The Application of Electrodialysis, *Pollution Control*, Vol. 98, Issue 11, p. 52-58, 2000.
- CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica, *home-page*, www.cimm.com.br/materialdidatico, consulta realizada em março de 2002.
- CNTL – SENAI / RS, *home-page*, www.rs.senai.br/cntl/cntl.htm, consulta realizada em março de 2002.
- DAROIT, D., NASCIMENTO, L.F., A Busca da Qualidade Ambiental como Incentivo à Produção de Inovações, ENANPAD – Florianópolis, 2000.
- Educação 100 %, *home-page*, www.consulteme.com.br/biologia, consulta realizada em novembro de 2001.
- GAO, B., YANG, L., XIAORONG,W., ZHAO, J., SHENG, G., Influence of modified soils on the removal of diesel fuel oil from water and the growth of oil degradation micro-organism, *Chemosfere*, v. 41, p. 419-426, 2000.
- GRISHCHENKOV, V.G., TOWNSEND, R.T., McDONALD, T.J., AUTENRIETH, R.L., BONNER, J.S., BORONIN, A. M., Degradation of petroleum hydrocarbons by facultative anaerobic bacteria under aerobic and anaerobic conditions, *Process Biochemistry*, v. 35, p. 889-896, 2000.

- KIM, J., KIM, B., LEE, C., KIM, S., JEE, H., KOH, J., FANE, A. G., Development of clean technology in alcohol fermentation industry, *Journal of Cleaner Production*, v.5, nº 4, pp. 263-267, 1997.
- KRIEG, N. R., HOLT, J.G., Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, v. 1, William and Wilkins, Estados Unidos, 1984.
- LEE, S., PARK, H., LEE, C., LEE, M., PAK, H., CHUNG, K., Clean technology in the crystal glass industry, *Journal of Cleaner Production*, v.5, nº 3, pp. 207-210, 1997
- LIPTÁK, B. G., Instrument Engineers' Handbook, 3ª ed., 1995.
- LR Informática Industrial, *home-page*, www.linfo.com, consulta em janeiro de 2002.
- LUCK, F., DJAFER, M., KARPEL VEL LEITNER, N., GOMBERT, B., LEGUBE, B., Destruction of Pollutants in Industrial Rinse Waters by Advanced Oxidation Processes, *Water Science Technology*, Vol. 35, nº 4, pp. 287-291, 1997.
- MADIGAM M. T., MARTINKO, J.M., PARKER, J.; Brock Biology of Microorganisms, Prentice Hall., 2000.
- MARK'S Standard Handbook for Mechanical Engineers, 8ª Edição, 1995
- NASCIMENTO, L. F.; LEMOS, A. D. C.; HIWATASHI, E., O desempenho ambiental das empresas do setor metal-mecânico no RS, Anais do Encontro da Associação Nacional de Programas de Pós-Graduação em Administração, Rio de Janeiro, 1997.
- PELCZAR, L., Microbiologia, vol. 1, 1986.
- SNEATH, P. H. A., MAIR, N. S., SHARPE, M. E., HOLT, J.G., Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, v. 2, William and Wilkins, Estados Unidos, 1984.
- STEMMER, C. E., Ferramentas de corte I, Editora da UFSC, 4ª ed., 1995.
- TIBOR, T., FELDMAN, I., ISO 14000: um guia para as normas de gestão ambiental, São Paulo, 1996.