

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GABRIEL ARAUJO BARBOZA

**REAPROVEITAMENTO DE FLUIDOS DE CORTE NA INDÚSTRIA
METALÚRGICA**

JUIZ DE FORA

2018

GABRIEL ARAUJO BARBOZA

**REAPROVEITAMENTO DE FLUIDOS DE CORTE NA INDÚSTRIA
METALÚRGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Fortes Marcomini

Co-Orientador: Prof. Dra. Sue Ellen Costa Bottrel

JUIZ DE FORA

2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Barboza, Gabriel Araujo.
reaproveitamento de fluidos de corte na indústria metalúrgica /
Gabriel Araujo Barboza. -- 2018.
51 p.

Orientador: Raphael Fortes Marcomini
Coorientadora: Sue Ellen Costa Bottrel
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2018.

1. Fluidos de corte. 2. Reaproveitamento. 3. Metalurgia. I. Marcomini, Raphael Fortes, orient. II. Bottrel, Sue Ellen Costa, coorient. III. Título.

GABRIEL ARAUJO BARBOZA

**REAPROVEITAMENTO DE FLUIDOS DE CORTE NA INDÚSTRIA
METALÚRGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em 4 de setembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raphael Fortes Marcomini (Orientador)

UFJF

Prof. Dra. Sue Ellen Costa Bottrel (Co-Orientadora)

UFJF

Prof. Dr. Carlos Renato Pagotto

UFJF

RESUMO

O setor de indústrias metalúrgicas apresenta grande impacto na economia nacional e é um dos grandes geradores de resíduos, sendo os fluidos de corte um deles. Os fluidos são uma ameaça ao meio ambiente e à saúde se descartados e manipulados de maneira incorreta. Portanto, a redução do descarte através do reaproveitamento pode ter como consequências a diminuição do impacto ambiental e a redução de gastos com o consumo de fluidos nas empresas. Neste trabalho, analisou-se a situação de uma metalúrgica através do estudo de duas de suas máquinas que realizam o processo de furação em chapas e perfis metálicos. Buscou-se estimar a quantidade de fluido de corte descartada e quais os benefícios econômicos podem ser trazidos pelo reaproveitamento. Para isso foi feita uma análise gravimétrica de amostras coletadas de fluido de corte e cavacos descartados por estas duas máquinas. A partir desta análise foi possível estimar que, mensalmente, a empresa poderia economizar o equivalente a 53% do que gasta com fluidos de corte, caso realizasse o reaproveitamento destes.

Palavras-chave: Fluidos de corte, reaproveitamento, furação.

ABSTRACT

The metallurgical sector has an enormous impact on national economy and it generates one of the biggest amounts of waste, among of which cutting fluids is to be noted. This residue poses a threat to the environment as well as health if discarded and manipulated improperly. Thus, the decrease of cutting fluids through reuse may present as consequences both the reduction of environmental impact and overhead costs towards the consumption of residue in companies. In this paper, the situation of a metalwork was analyzed through the study of two of its machines that executed drilling on metal plates and profiles. It was tried to estimate the quantity of cutting fluids discarded and which financial advantages may be taken out of its reuse. According this objective it was made a weight analysis with samples of residues generated from these two machines. Through the weight analysis was possible estimate a waste of cutting fluids equivalent to 53% of the amount the company spent.

Keywords: Cutting fluids, drilling, reuse, drilling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos cavacos quanto a forma.....	19
Figura 2: Filtro a vácuo Kabelschlepp	27
Figura 3: Funcionamento de uma máquina centrífuga.....	28
Figura 4: Separador magnético de tambor	29
Figura 5: Ficep 1003.....	33
Figura 6: Reservatório de fluidos para reaproveitamento	34
Figura 7: Bomba para retorno do fluido à máquina	34
Figura 8: Caçamba de armazenamento de cavacos	35
Figura 9: Peddinghaus HSFDB 2500	36
Figura 10: Fluxograma de metodologia	38
Figura 11: Coleta na máquina Ficep 1003.....	39
Figura 12: Coleta da máquina Peddinghaus HSFDB 2500	39
Figura 13: Proveta com solução de fluido de corte da HSFDB 2500 após o uso	41
Figura 14: Fluido de corte Nev Cold S450.....	41
Figura 15: Amostra de fluido homogeneizado da Ficep 1003	42
Figura 16: Reservatório de fluidos da Ficep 1003	44
Figura 17: Filtro do sistema de recuperação da Ficep 1003.....	45
Figura 18: Amostra de fluido sedimentado da Ficep 1003	49
Figura 19: Concentração de sólidos - Ficep 1003	51
Figura 20: Concentração de sólidos - HSFDB 2500.....	51
Figura 21: Concentração de sólidos - Ficep 1003 e HSFDB 2500	52
Figura 22: Separador magnético Texius.....	53
Figura 23: Especificações do separador magnético Texius.....	54
Figura 24: Centrifuga GV Máquinas.....	55
Figura 25: Transportador Metals	57
Figura 26: Esboço do transportador Metals	58
Figura 27: Esboço do transportador Metals	58
Figura 28: Filtros FGDEA-04-T-010 e FGDEB-04-T-010.....	60
Figura 29: Caçamba SP Metal.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações de performance da bomba.....	46
Tabela 2: Resultados obtidos nos ensaios de determinação do volume de fluido passível de aproveitamento.....	46
Tabela 3: Volume de sólido sedimentado	49
Tabela 4: Resultados do teor de sólidos de cada amostra	50
Tabela 5: Especificações da centrífuga GV Máquinas.....	56
Tabela 6: Características dos filtros SMC	60
Tabela 7: Representação de custos por máquina ou equipamento	62
Tabela 8: Informações sobre os investimentos.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

ETE – Estação de tratamento de efluentes

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 TEMA	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 USINAGEM.....	16
2.1.2 CAVACO	17
2.2 FLUIDOS DE CORTE.....	19
2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE.....	21
2.2.1.1 ÓLEOS INTEGRAIS	21
2.2.1.2 EMULSÕES OLEOSAS	22
2.2.1.3 SOLUÇÕES OLEOSAS.....	22
2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS.....	23
2.3.1 CAVACOS E FLUIDOS DE CORTE NA INDÚSTRIA METALÚRGICA	24
2.4 MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DO CAVACO E FLUIDO DE CORTE.....	26
2.4.1 SEDIMENTAÇÃO	26
2.4.2 FILTRAÇÃO	26
2.4.3 CENTRIFUGAÇÃO	27
2.4.4 SEPARAÇÃO MAGNÉTICA	28
2.5 CASOS DE SUCESSO NA SEPARAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DO CAVACO E E FLUIDO DE CORTE	29
2.5.1 REUSO DE ÓLEOS E EMULSÕES EM UMA INDÚSTRIA MECÂNICA.....	29
2.5.2 REUSO DE ÓLEO INTEGRAL DE CORTE EM INDÚSTRIA MECÂNICA DE ACESSÓRIOS PARA MOTOR.....	30

2.5.3 REAPROVEITAMENTO DE FLUIDO DE CORTE EM UMA METALÚRGICA DE SANTA CATARINA	31
2.6 EMPRESA METALÚRGICA ESTUDADA	32
<u>3. METODOLOGIA</u>	<u>36</u>
3.1 COLETA DE AMOSTRAS	38
3.2 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE FLUIDO	39
3.3 ANÁLISE DO FLUIDO	40
<u>4. RESULTADOS.....</u>	<u>44</u>
4.1 SITUAÇÃO ATUAL DAS MÁQUINAS ESTUDADAS.....	44
4.2 RESULTADOS OBTIDOS POR ANÁLISE GRAVIMÉTRICA.....	46
4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR ANÁLISE GRAVIMÉTRICA	47
4.4 ANÁLISE DO FLUIDO COLETADO	48
4.4.1 ANÁLISE DE SEDIMENTAÇÃO	49
4.4.2 ANÁLISE DO TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS	50
4.5 SUGESTÕES DE MÉTODOS PARA REAPROVEITAMENTO DO FLUIDO.....	52
4.5.1 SEPARADOR MAGNÉTICO.....	53
4.5.2 CENTRÍFUGA	55
4.5.3 TRANSPORTADOR DE CAVACO COM FILTRO TAMBOR INTEGRADO.....	56
4.5.4 SISTEMA COM FILTRO E TANQUE DE SEDIMENTAÇÃO.....	59
4.5.5 CAÇAMBA COM DRENO	61
4.6 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA	61

<u>5. CONCLUSÃO</u>	<u>65</u>
<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>66</u>
<u>ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE</u>	<u>68</u>

1. INTRODUÇÃO

Os fluidos de corte são largamente empregados na indústria metalúrgica sendo compostos por diferentes agentes químicos que variam de acordo com o processo e o tipo de metal a ser trabalhado. Eles podem ser empregados em processos de usinagem como furação, serramento e torneamento. Entre as funções dos fluidos de corte na usinagem é possível destacar a remoção dos cavacos da zona de corte e a capacidade de refrigeração e lubrificação, que evitam o aquecimento excessivo e melhoram o acabamento superficial da peça a ser trabalhada. (GONÇALVES, 2008)

Em função da larga utilização dos fluidos, cabe destacar que eles podem representar uma ameaça à saúde e ao meio ambiente caso não recebam o tratamento e descarte adequados. No atual cenário de conscientização ecológica e criação de leis de proteção ambiental, a discussão a respeito da destinação e reaproveitamento para este tipo de resíduo, gerado pela indústria metalúrgica, torna-se fortemente relevante.

No entanto, atender apenas às demandas ambientais em detrimento dos interesses das empresas não é a melhor alternativa. A necessidade de se praticar medidas sustentáveis, mais do que nunca, torna-se imprescindível para manter os níveis de produção e competitividade e, por isso, qualquer alternativa para redução de custos que privilegie boas práticas ambientais pode ser uma boa solução. As empresas devem buscar uma gestão de resíduos que seja sustentável, implantando processos que sejam mais eficientes e atribuam benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Existem algumas metodologias baseadas no reaproveitamento de resíduos que são praticadas por empresas do setor de metalurgia. Nestas empresas, a prática de reaproveitamento dos fluidos permite uma significativa economia no gasto destes, além de garantir uma boa visibilidade perante órgãos ambientais. (TOCCHETTO, 2005)

No presente trabalho foi analisada a situação de uma determinada empresa metalúrgica que utiliza fluidos de corte no seu processo de furação. Através da análise, buscou-se estimar a quantidade de fluido de corte descartada que, possivelmente, poderia ser reaproveitada. Para isso, o estudo se concentrou em duas de suas máquinas, com o maior gasto de fluidos, que realizam processo de furação em chapas e perfis metálicos. Uma das máquinas estudadas já possui um sistema de reaproveitamento dos fluidos, porém, ainda assim, uma parte significativa não é reaproveitada. Já na outra máquina analisada não há nenhum sistema de reaproveitamento.

Através deste estudo foi feita uma estimativa da quantidade de fluido descartada e qual seria a economia obtida pela empresa caso pudesse ser reaproveitado. Buscou-se também propor métodos adequados para que os fluidos descartados possam ser recuperados.

1.1 TEMA

Análise do reaproveitamento de fluidos de corte em uma empresa metalúrgica.

1.2 JUSTIFICATIVA

O setor de indústrias metalúrgicas apresenta grande impacto na economia nacional e é um dos grandes geradores de resíduos, sendo os fluidos de corte um deles. Os fluidos são uma ameaça ao meio ambiente e à saúde se descartados e manipulados de maneira incorreta. Por isso, reduzir o descarte e o consumo destes fluidos, pode representar uma boa medida para interesses sociais e ambientais. Além disso, a redução no consumo através de seu reaproveitamento pode representar uma significativa contenção de gastos para as empresas.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo geral: estimar a quantidade de fluido de corte descartada pela empresa estudada com potencial de reaproveitamento.

Objetivos específicos:

- propor métodos para a separação dos cavacos e fluidos de corte e que viabilizem o reaproveitamento dos fluidos
- estimar a possível economia trazida pelo reaproveitamento
- avaliar amostras do fluido descartado através da determinação da concentração de sólidos e sedimentação.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta uma introdução com as justificativas e objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, são apresentados os assuntos relativos à discussão do trabalho. São eles: usinagem, fluidos de corte, resíduos industriais, métodos de separação do cavaco e fluido de corte, casos de sucesso na separação e reaproveitamento de fluidos de corte, e, por último, uma breve descrição sobre a empresa estudada.

No capítulo 3 é descrita a metodologia do trabalho. No capítulo 4 são apresentados os resultados e suas análises, e finalizando no capítulo 5 a conclusão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão dos conceitos relevantes que serão tratados neste trabalho. Serão abordados: usinagem, fluidos de corte, resíduos industriais, métodos de separação do cavaco e fluido de corte, casos de sucesso e uma apresentação da empresa que serviu como objeto de estudo.

2.1 USINAGEM

Pode-se definir usinagem como uma operação que confere a uma peça de metal (ou outro tipo de material) forma ou redução de dimensão ou acabamento, podendo ser qualquer combinação entre estes três itens, produzindo cavaco. Cavaco este que é definido como a porção de material removido da peça nos processos de usinagem, sendo caracterizado por apresentar geometria e formas irregulares. (FERRARESI, 1970)

Conforme citado por Machado e Silva (2004), tem-se na usinagem um dos processos de fabricação mais populares do mundo, sendo responsável por transformar em cavaco cerca de 10% de toda a produção de metais e por empregar dezenas de milhões de pessoas em todo o mundo. Tais fatos mostram a importância desse processo e a relevância em realizar estudos sobre o assunto.

A norma ABNT NBR 6175, determina a nomenclatura, definição e classificação dos processos mecânicos de usinagem. Dentre os diversos processos, a seguir são mostradas as descrições de alguns deles, conforme a norma, que possuem maior relevância para o presente trabalho:

a) Torneamento: processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto, a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo.

b) Furação: processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de um furo, geralmente cilíndrico, numa peça com o auxílio de uma ferramenta que costuma ser multicortante. Para tanto, a ferramenta ou a peça giram e, simultaneamente, se desloca segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal do eixo de rotação da máquina. A furação pode ser classificada em:

- Furação em cheio: processo destinado à abertura de um furo cilíndrico numa peça, removendo todo o material compreendido no volume do furo final na forma de cavaco. Para furos de grande profundidade utiliza-se ferramenta especial.

- Escareamento: processo de furação destinado à abertura de um furo cilíndrico numa peça pré-furada.

- Furação escalonada: processo destinado à obtenção de um furo com dois ou mais diâmetros, simultaneamente.

- Furação de centros: processo destinado à obtenção de furos de centro, visando uma operação posterior na peça.

- Trepanação: processo de furação em que apenas uma parte do material compreendido no volume do furo final, permanecendo um núcleo maciço.

c) Serramento: processo mecânico de usinagem destinado ao seccionamento ou recorte com auxílio de ferramentas multicortantes de pequena espessura. Para tal processo, a ferramenta gira e/ou se desloca, já a peça pode permanecer parada ou se deslocar. O serramento pode ser:

- Serramento retilíneo: processo no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea, com movimento alternativo ou não.

- Serramento circular: processo no qual a ferramenta gira ao redor de seu eixo e a peça ou ferramenta se deslocam.

d) Lixamento: processo mecânico de usinagem por abrasão executado por abrasivo aderido a uma tela e movimentado com pressão contra a peça.

e) Polimento: processo mecânico de usinagem por abrasão, no qual a ferramenta é constituída por um disco ou conglomerado de discos revestidos de substâncias abrasivas.

2.1.2 Cavaco

A formação do cavaco ocorre, durante a usinagem, quando a ferramenta penetra na peça a ser usinada, fazendo com que uma pequena porção do material seja comprimida diretamente contra a superfície de saída da ferramenta de corte. A porção de material comprimida sofre uma deformação plástica que aumenta, progressivamente, conforme o movimento da ferramenta de corte, até que as tensões de cisalhamento se tornem grandes o suficiente para iniciar um deslizamento da porção de material comprimida em relação à peça.

Conforme ocorre a penetração da ferramenta na peça a ser usinada, em um dado ponto, chamado de região de cisalhamento, ocorre a ruptura do material em deslizamento para com essa peça. Este ponto de ruptura irá depender da ductibilidade do material e das condições em que ocorre o processo de usinagem. A partir do ponto de ruptura, à medida que ocorre o movimento relativo, inicia-se um movimento de escorregamento entre a porção de material deformada e cisalhada (conhecida como cavaco) sobre a superfície de saída da ferramenta de corte. (FERRARESI, 1970)

De acordo com a Ferraresi (1970), a classificação mais comum encontrada para os cavacos é a seguinte:

- Cavacos contínuos: formados na usinagem de materiais dúcteis como aços de baixa liga, alumínio e cobre. São constituídos por lamelas justapostas numa disposição contínua e agrupadas em grupos chamados de grupos lamelares. Entende-se por lamela a camada de material de cavaco formada pelos grãos cristalinos que são os conjuntos de células unitárias dos metais agrupadas com contornos irregulares.

- Cavacos de cisalhamento: formado pela diminuição de resistência do material em seu plano de cisalhamento por fatores como aumento da deformação, heterogeneidade da estrutura do metal que está sendo trabalhado ou vibrações externas que conduzem variações na espessura do cavaco. Este tipo de cavaco é constituído de grupos lamelares distintos e justapostos.

- Cavaco de ruptura: formado na usinagem de materiais frágeis ou de estrutura heterogênea. Neste tipo de cavaco ocorre uma ruptura completa do material em grupos lamelares na região de cisalhamento, de forma que estes grupos permaneçam separados.

Segundo Machado e Silva (2004), a classificação dos cavacos pode ser feita também de acordo com a forma:

- cavaco em fita
- cavaco helicoidal
- cavaco espiral
- cavaco em lascas ou pedaços.

A forma dos cavacos pode influenciar diretamente na operação e na segurança do processo de usinagem de forma que interfiram no acabamento da peça ou desgastem a ferramenta de corte. Para determinadas operações de usinagem alguns tipos de cavacos são mais convenientes do que outros, a figura 1 relaciona o tipo de cavaco com o seu grau de requerimento. O cavaco em fita, por exemplo, que é representado na figura 1 pelos grupos 1 e

2, é um cavaco com forma indesejável devido ao seu tamanho que, além de dificultar o armazenamento, pode também aumentar o risco de paradas na produção por ficar preso à ferramenta de corte e risco de acidentes por possuir extremidade afiada. A forma mais conveniente de cavaco, de uma maneira geral, é o helicoidal, representado na figura 1 pelos grupos de 3 a 7, pois este deixa rapidamente o espaço entre a ferramenta e a peça por ocorrer em elevadas velocidades de corte.

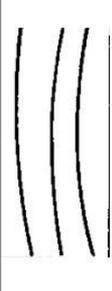
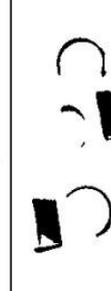
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FITA		HÉLICE					OUTROS		
FITA	EMARANHADO	HÉLICE PLANA	HÉLICE OBLÍQUA	HÉLICE LONGA	HÉLICE CURTA	HÉLICE ESPIRAL	ESPIRAL	VÍRGULA	ARRANCADOS
									
desfavorável		médio			favorável		médio		

Figura 1: Classificação dos cavacos quanto a forma
Fonte: Simeí, 2013

2.2 FLUIDOS DE CORTE

De acordo com Runge e Duarte (1990, apud Gonçalves, 2008), os fluidos de corte são composições complexas formadas por agentes químicos que variam conforme a operação a ser executada e o tipo de metal a ser trabalhado. Os fluidos estão integrados ao processo de usinagem e fabricação de peças metálicas através da remoção de cavacos dentro do sistema que compreende a máquina ferramenta, as ferramentas de corte, as peças em produção e o fluido de corte.

Conforme citado por Ferraresi (1970), a primeira utilização de fluido de corte se deu com o objetivo de reduzir o efeito das altas temperaturas sobre a ferramenta de corte através da utilização de grande quantidade de água jorrada sobre a região de contato entre peça, ferramenta e o cavaco. Nos dias de hoje, segundo Machado e Silva (2004), devido à grande

demanda nas indústrias, pressão de órgãos ambientais e de saúde e ao desenvolvimento na tecnologia de novos aditivos, os fluidos, cada vez mais, vêm apresentando melhores propriedades e cumprindo melhor suas funções.

Basicamente, as principais funções dos fluidos de corte são: lubrificação a baixas velocidades de corte e refrigeração em altas velocidades. Isto porque, como citado por Machado e Silva (2004), em baixas velocidades a lubrificação é importante para evitar o atrito e reduzir a possível formação de aresta postiça de corte (um tipo de desgaste na ferramenta de corte), sendo a refrigeração menos importante nesta condição. Já em altas velocidades, as condições de penetração do fluido na interface ferramenta-peça são menos favoráveis, dificultando sua função como lubrificante, por isso, neste caso, a refrigeração passa a ser de grande relevância.

Além das funções já citadas, outros papéis de importância exercidos por um fluido de corte em um processo de usinagem são mostrados por Motta e Machado (1995), são eles:

- Melhoria no acabamento superficial: o acabamento superficial de peças usinadas se relaciona com a força utilizada na usinagem, o que depende da qualidade de lubrificação usada. Em baixas velocidades os fluidos são efetivos no processo de lubrificação, o que resulta em uma melhora no acabamento superficial.

- Evitar o aquecimento excessivo da peça: com o calor gerado durante o processo de corte podem ocorrer problemas de manuseio da peça ou uma expansão do componente fabricado o que, em algumas circunstâncias, pode levar a erros de tolerância dimensional. O fluido controla o aumento de temperatura, reduzindo os efeitos do superaquecimento da peça fabricada.

- Auxiliar na remoção do cavaco na região de corte: em determinadas operações o cavaco deve ser retirado da área de corte para não riscar ou comprometer o acabamento superficial da peça usinada ou ocasionar avarias na ferramenta. O fluido de corte auxilia na remoção.

Para executar todas as funções acima descritas, a ação do fluido de corte consiste no seu contato na região cavaco-ferramenta, contudo, a forma como isso ocorre ainda é uma questão de muita discussão entre os pesquisadores. Para alguns o fluido não entra completamente na região da interface de contato cavaco-ferramenta em que a aderência do material do cavaco com a superfície de saída da ferramenta é completa. Outros acreditam que a penetração do fluido nessa interface de contato é completa, fluindo em direção à ponta da ferramenta através de uma ação capilar. De uma forma geral, entende-se que ação do fluido

deve ser de formar um filme com resistência ao cisalhamento menor que a resistência dos materiais da interface cavaco-ferramenta. (MOTTA e MACHADO, 1995)

2.2.1 Classificação dos fluidos de corte

Existem diversas formas de classificar os fluidos de corte, porém, nenhuma delas é tida como classificação padrão. Uma das classificações mais comuns é através da seguinte divisão: um grupo formado pelos fluidos compostos apenas por óleo (óleos integrais ou puros), um grupo dos fluidos formados pela adição de óleo concentrado à água e o ar, que é um fluido de desempenho razoável podendo ser utilizado como fluido de corte através de seu jateamento na região de corte visando o resfriamento. O grupo formado pelos fluidos constituídos da adição de óleo à água pode ser subdividido em emulsões e soluções.

2.2.1.1 Óleos integrais

Pode-se dizer que os óleos integrais são óleos minerais puros ou com aditivos. Os primeiros lubrificantes utilizados como óleos integrais na usinagem de metais foram os óleos vegetais e animais, porém, o alto custo e a rápida deterioração fizeram com que estes óleos se tornassem inviáveis. Atualmente, tanto óleos vegetais como animais são empregados como aditivos nos fluidos minerais contribuindo para a melhora nas propriedades lubrificantes. Fatores como alto custo em relação a outros fluidos de corte, risco de fogo, ineficiência em altas velocidades de corte, baixo poder refrigerante e por oferecer riscos à saúde do operador, tem feito os óleos integrais perderem espaço para óleos concentrados adicionados à água. (MOTTA e MACHADO, 1995)

De acordo com Gonçalves (2008), os fluidos de corte integrais se caracterizam por apresentarem maior transparência, o que permite ao operador a visualização da zona de trabalho através do fluido de corte. Isto faz com que sejam particularmente úteis durante o ajustamento da operação e no ajuste fino de operações mais delicadas.

2.2.1.2 Emulsões oleosas

As emulsões podem ser divididas em (MOTTA E MACHADO, 1995; MACHADO E SILVA, 2004):

- Fluidos emulsionáveis: conhecidos como “óleos solúveis”, na verdade, estes óleos não se dissolvem em água, pois formam apenas uma emulsão ou suspensão de gotículas de óleo em água. São compostos de óleos minerais adicionados à água na proporção de 1:10 a 1:100 combinados com agentes emulgadores para garantir a sua miscibilidade com água. Para evitar os efeitos corrosivos da água são utilizados aditivos anticorrosivos e para evitar o desenvolvimento de bactérias e fungos, biocidas atóxicos compatíveis com a pele humana a fim de preservar a saúde dos operadores.

- Semissintéticos: são formadores de emulsões e apresentam de 5 a 50% de óleo mineral nos fluidos concentrados e aditivos que se dissolvem em água, formando moléculas individuais. A grande quantidade de emulgadores em comparação com os fluidos sintéticos faz com que os semissintéticos apresentem coloração menos leitosa e mais transparente. Além disso, a menor quantidade de óleo mineral e a presença de biocidas aumentam a vida útil do fluido e reduzem riscos à saúde.

2.2.1.3 Soluções oleosas

As soluções se caracterizam por serem compostos monofásicos de óleos que se dissolvem por completo em água, não havendo a necessidade de atuação dos elementos emulgadores, pois os compostos reagem quimicamente formando fases únicas. Os fluidos sintéticos são os representantes da classe das soluções e, segundo El Baradie (1996), são soluções químicas formadas por substâncias inorgânicas ou outros materiais, dissolvidos em água e que não contém óleo mineral. São constituídos por sais orgânicos e inorgânicos, aditivos de lubricidade, biocidas, inibidores de corrosão, entre outros, e possuem propriedades refrigerantes sendo alguns deles também lubrificantes.

Os sintéticos apresentam uma vida útil elevada por não serem tão suscetíveis ao ataque de bactérias, reduzem o número de trocas na máquina e possuem coloração transparente permitindo boa visibilidade do processo de corte. Os óleos sintéticos mais comuns apresentam proteção anticorrosiva e boa refrigeração, já os mais complexos são de uso geral com boas propriedades lubrificantes e refrigerantes.

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Antigamente, os resíduos eram tratados como um problema sem solução e não era dada muita importância a essa questão praticamente no mundo inteiro. Atualmente, com o desenvolvimento de textos normativos e leis de proteção ambiental o tema passou a ser tratado com maior importância. (IGNÁCIO, 1998)

O lixo gerado através de atividades como agricultura e a indústria é tecnicamente conhecido como resíduo e os responsáveis por gerá-lo devem ficar em cargo de gerenciar, transportar, tratar e dar uma destinação final, sendo essa responsabilidade para sempre. Os resíduos industriais devido ao grande potencial de toxicidade e envenenamento são um dos maiores responsáveis por agressões severas ao meio ambiente e, por isso, precisam receber tratamento especial. Muitos metais e produtos químicos provenientes de atividades industriais não são biodegradáveis ou naturais, de forma que, se forem enterrados ou despejados em rios e mares podem comprometer a saúde do meio ambiente e dos seres vivos que nele vivem. (KRAEMER, 2005)

Levando em conta a crescente preocupação com sustentabilidade e destinação de resíduos industriais, em 2004 foi criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas uma nova versão da norma NBR 10004 – Resíduos sólidos - Classificação. Esta tem como objetivo fornecer subsídios para o gerenciamento de resíduos sólidos através da classificação destes resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. De acordo com a norma, os resíduos são classificados da seguinte maneira:

- Classe I – Resíduos perigosos: são resíduos que geram riscos à saúde pública provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices e, também, resíduos que provocam riscos ao meio ambiente quando gerenciados de forma inadequada. Podem ter características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

- Classe II A - Não inertes: são resíduos que não se enquadram nas classes I e II A podendo ter propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água.

- Classe II B – Inertes: são resíduos que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR-10.007 da ABNT), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Isto mostra que a água irá

permanecer potável quando em contato com o resíduo. A maioria destes resíduos é reciclável e não se degradam ou decompõem quando dispostos no solo.

Além das normas ABNT o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que é o órgão consultivo e normativo responsável pela política ambiental no Brasil, possui resoluções que também tratam da questão dos resíduos sólidos, fornecendo exigências e instruções para os geradores sobre como gerenciar, administrar e dar a destinação final correta para estes resíduos. Entre estas resoluções é possível destacar, para os objetivos do presente trabalho, a Resolução CONAMA nº 362/2005 que dispõe sobre o rerrefino de óleo lubrificante e determina que todo óleo lubrificante usado ou contaminado deverá ser recolhido, coletado e ter destinação final e a Resolução CONAMA nº 023/1996 que dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos.

2.3.1 Cavacos e fluido de corte na indústria metalúrgica

O setor de indústrias metalúrgicas apresenta grande relevância e impacto na economia brasileira, sendo também responsável por grande parte dos resíduos industriais gerados no país. Grande parte das indústrias, principalmente as de pequeno porte, não se responsabilizam pela disposição ambientalmente correta dos cavacos e dos fluidos de corte. (MORAES, SIMON, VARGAS, 2015)

Entre os resíduos industriais gerados por este setor, especificamente o cavaco contaminado com fluido de corte é classificado de acordo com a norma ABNT NBR – 10004 como classe I, resíduos perigosos. Em relação aos principais impactos gerados pela disposição ambientalmente incorreta dos cavacos contaminados por fluidos de corte pode-se destacar: alteração da qualidade do ar, uso de recurso natural não renovável, risco de contaminação da água e do solo, efeito estufa e ocupação em aterro. (MORAES, SIMON, VARGAS, 2015)

De acordo com Tan et al. (2002, apud Gonçalves, 2008), durante o processo de usinagem, o fluido de corte pode ser considerado um dos principais causadores de poluição ambiental uma vez que provoca impactos ambientais tais como emissão de gases tóxicos, resíduos sólidos e efluentes líquidos oleosos perigosos, os quais podem poluir os recursos hídricos, o solo e o ar.

Conforme citado por Howes, Tönshoff e Heuer (1991), a quantidade de resíduo de fluido de corte pode ser substancialmente reduzida mediante um efetivo sistema de reciclagem, uma vez que o sistema de reciclagem permite a utilização do fluido de corte

durante um maior período de tempo, entretanto, mesmo nos melhores casos, o fluido se degradará a ponto de se tornar inutilizável, chegando ao fim de sua vida útil e necessitando ser devidamente tratado e descartado com segurança.

Tendo em vista os diversos riscos que os resíduos oriundos do setor metalúrgico podem causar, algumas medidas ambientalmente benéficas podem ser tomadas com o intuito de reaproveitar e reduzir custos e despesas de produção, sendo dessa forma medidas sustentáveis. Uma destas medidas, que é o foco deste trabalho, é a separação dos cavacos metálicos contaminados com o fluido de corte.

Alguns conceitos de gestão ambiental englobam diversas atividades e são, inclusive, aplicados em indústrias, como as do setor metalúrgico. Um destes conceitos é o dos 3 Rs que é formado por estratégias que visam diminuir a exploração de recursos naturais e o impacto ambiental das diversas atividades relacionadas com a vida em sociedade.

De acordo com Toccheto (2005), esta estratégia pode ser descrita da seguinte forma: redução envolve atividades e medidas para evitar o descarte de resíduos, reutilização consiste no reaproveitamento antes do descarte ou da reciclagem e reciclagem é a forma de reaproveitar os resíduos gerados ou parte destes, no mesmo ou em outro processo produtivo. Toccheto (2005) ainda descreve que a geração de resíduos representa perdas no processo, ineficiência produtiva, custos ambientais de gerenciamento e que, por isso, o estabelecimento de estratégias de prevenção vai ao encontro dos princípios de proteção ambiental e de sustentabilidade.

Outro conceito de destaque é a Produção Mais Limpa, criado pelo PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) no início da década de 1990, se baseia na aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços visando 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 metodologia tem como pretensão integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade. A definição das metas e estratégias é feita de acordo com a prioridade de cada empresa sendo, dessa forma, em determinados casos os fatores econômicos tomados como ponto de alteração tornando a minimização dos impactos ambientais uma consequência e em outros casos, os aspectos ambientais sendo prioritários, tornando os aspectos econômicos uma consequência. (TOCCHETO, 2005)

2.4 MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DO CAVACO E FLUIDO DE CORTE

Para que seja feita a recuperação e reciclagem de fluido de corte e cavaco metálico visando o reaproveitamento, torna-se necessária a separação destes resíduos. Os cavacos arrastam consigo grande quantidade de fluido de forma que um processo eficiente de separação pode refletir uma significativa redução de custos. A seguir são mostrados alguns métodos que podem ser utilizados para a separação de cavacos e fluidos de corte.

2.4.1 Sedimentação

É uma das técnicas mais simples que pode ser utilizada na separação do cavaco e fluido de corte. Consiste em um tanque de sedimentação onde os resíduos são decantados pela ação da gravidade e podem ser removidos utilizando-se barras raspadoras afixadas a uma corrente que raspa o fundo do tanque e remove os resíduos mediante um plano inclinado em um dos lados do tanque. É possível melhorar o sistema ao acrescentar, no tanque de sedimentação, uma parede divisória de forma que seja separado o fluido sujo do fluido limpo. No entanto, este sistema tem como desvantagens o fato de os tanques ocuparem grande espaço físico, dependendo do tipo de cavaco e fluido algumas limalhas de metal podem continuar impregnadas no fluido e é mais efetivo apenas para casos em que as partículas são de grande tamanho. (RUNGE E DUARTE, 1990, apud GONÇALVES, 2008)

2.4.2 Filtração

Nos equipamentos utilizados para filtração o fluido é forçado a passar através de meios porosos pela ação da força da gravidade, por pressão sendo forçado através de um sistema de bombeamento ou vácuo através e um sistema de sucção. Os meios porosos tem como função a retenção de partículas e materiais indesejáveis e podem ser reutilizáveis, comumente de metal, ou descartáveis de papel, algodão, fibras sintéticas ou outros materiais. Uma alternativa pode ser a utilização de um meio filtrante composto por materiais inorgânicos, tal como a terra diatomácea, que é muito eficiente para a remoção de contaminantes e partículas muito pequenas. No entanto, este tipo de meio filtrante pode remover também

componentes desejáveis como aditivos e emulsificadores que são componentes importantes para que o fluido possa exercer sua função. (Howes, Tönshoff e Heuer, 1991)

A figura 2 mostra um filtro a vácuo do fabricante KABELSCHLEPP que pode ser utilizado para grandes volumes de fluido, podendo ser usado para óleos, emulsões ou soluções aquosas e para qualquer tipo de cavaco independente da operação de usinagem.



Figura 2: Filtro a vácuo Kabelschlepp
Fonte: Kabelschlepp do Brasil

2.4.3 Centrifugação

A centrifugação é um processo de separação de sólidos contidos em líquidos através de uma máquina centrífuga que realiza movimento circular uniforme em elevada velocidade angular. Segundo Howes, Tönshoff e Heuer (1991), uma das vantagens em se utilizar as centrífugas no processo de separação de cavacos e fluido de corte é o fato de ocuparem menos espaço em relação aos tanques de sedimentação, pois a força centrífuga pode ser muito mais alta que a força gravitacional, além de ser capaz de remover pequenas partículas e recuperar uma elevada quantidade de fluido.

Na figura 3 é possível observar o funcionamento de uma máquina centrífuga. Em A ocorre a entrada do fluido contaminado, em B são acumuladas as partículas mais pesadas pela ação da força centrífuga, em D o fluido mais limpo e de menor densidade é removido e em C parte do líquido D que não é utilizado retorna para a centrífuga. A força de rotação centrífuga

faz com que o líquido mais leve (limpo) se concentre no vão central da máquina, em D, para ser reutilizado. (GONÇALVES, 2008)

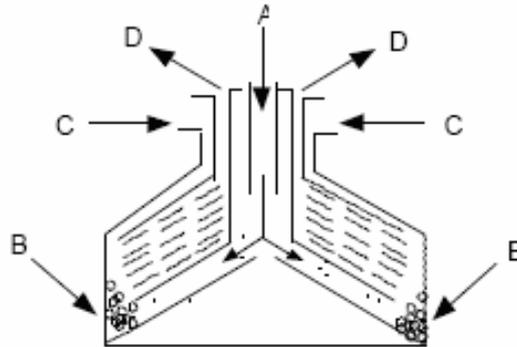


Figura 3: Funcionamento de uma máquina centrífuga
Fonte: Gonçalves, 2008

2.4.4 Separação magnética

De acordo com Howes, Tönshoff e Heuer (1991), os separadores magnéticos utilizam força magnética para remover as partículas e resíduos contidos no fluido, portanto, funcionam apenas para partículas magnetizáveis. Geralmente, os separadores magnéticos são utilizados para fluidos de baixa viscosidade e aquosos por serem mais eficientes nestes casos.

Nos separadores magnéticos as partículas magnetizáveis podem ser removidas através de tambores rotativos magnetizados ou correias magnetizadas. A figura 4 mostra um separador magnético em que o fluido de corte flui próximo à superfície do tambor magnetizados que gira atraindo e removendo as partículas do fluido, existindo um mecanismo acima dele para remover as partículas metálicas impregnadas. (Howes, Tönshoff e Heuer, 1991)

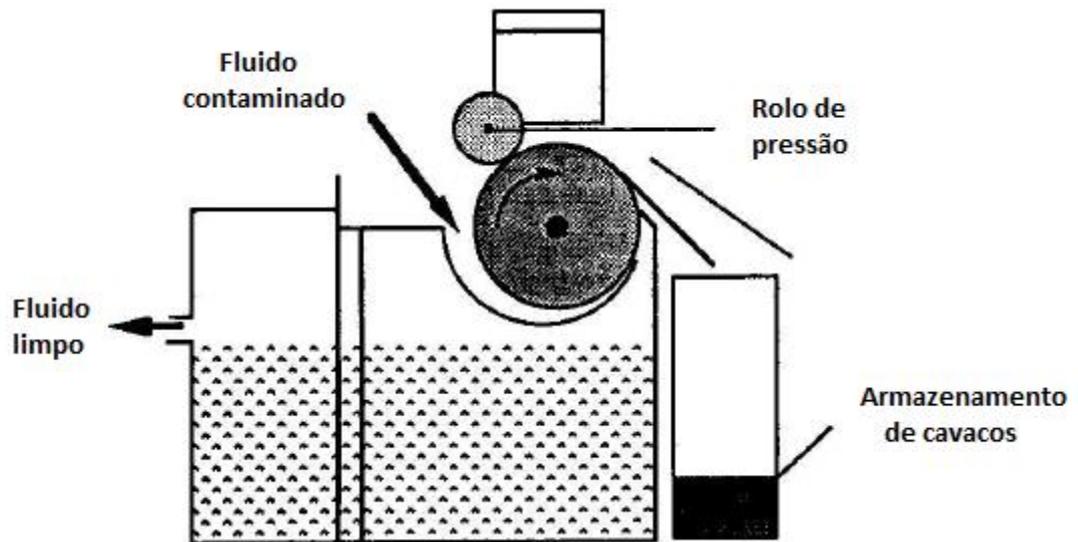


Figura 4: Separador magnético de tambor
 Fonte: Howes, Tönshoff e Heuer, 1991 (adaptado)

2.5 CASOS DE SUCESSO NA SEPARAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DE FLUIDOS DE CORTE

Para os fins deste trabalho foi interessante observar que algumas empresas já praticam medidas de separação e reutilização de seus fluidos de corte e cavacos, obtendo sucesso através da redução de gastos, melhoria dos processos produtivos e adequação à medidas ecologicamente sustentáveis. A seguir serão apresentados dois casos de sucesso divulgados pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) que incentiva a prática de medidas sustentáveis nas empresas do estado de São Paulo. Muitas destas empresas se baseiam nos conceitos citados anteriormente de Produção Mais Limpa e 3Rs. Será mostrado também o caso de uma empresa metalúrgica no Rio Grande do Sul que realiza o reaproveitamento de fluidos de corte com sucesso.

2.5.1 Reuso de óleos e emulsões em uma indústria mecânica

O relato foi apresentado em julho de 2002 e é o caso de número 10 do site da CETESB, trata de uma empresa de peças mecânicas para automóveis de grande porte do município de Taubaté que tem como produtos motores, transmissões e componentes de

chassis automotivos. Sua produção anual média é de, aproximadamente, 192000 motores, 216000 transmissões e 860000 componentes de chassis.

Na fabricação dos motores, transmissões e componentes de chassi, por processos de usinagem de peças metálicas, a empresa gera uma média de 375 toneladas de cavacos metálicos por mês. Os cavacos gerados através de diferentes processos de usinagem e impregnados por fluidos de corte eram depositados em três caçambas móveis para que, através do processo de decantação, fossem separados dos cavacos. Os fluidos decantados nos fundos das caçambas eram drenados e conduzidos através de um canaete interligado à rede de efluentes industriais e seguiam para a estação de tratamento de efluentes da cidade. A quantidade total de fluido decantada era de cerca de 35 toneladas por mês o que representava, aproximadamente, 9,5% do peso total de cavaco gerado.

Verificado este cenário, a empresa passou a dividir os fluidos utilizados em 8 grupos e implantou uma coleta seletiva dos cavacos metálicos impregnados com fluidos de corte a partir da definição dos grupos. Para fazer esta coleta 5 novas caçambas foram cedidas em parceria com a empresa coletora dos cavacos e 7 novos minitanques foram construídos para receber os óleos decantados nas caçambas. A partir da separação de cada tipo de fluido de acordo com os grupos, foi iniciado um processo de verificação físico-química e eventual ajuste de condições técnicas. Em seguida, cada fluido pode ser reutilizado no processo de corte de origem ou pode ser reencaminhado para outros processos dentro da empresa que exigem características menos exigentes do fluido.

A empresa realizou um investimento total de R\$10000,00 com um tempo de retorno de 1 mês. Apresentou uma redução na compra de 1400 litros por mês, o equivalente a R\$11000,00 por mês; passou a economizar R\$78,00 por mês em água e teve uma redução de 88% na quantidade de fluido enviado para a ETE.

2.5.2 Reuso de óleo integral de corte em indústria mecânica de acessórios para motor

Este relato foi apresentado no site da CETESB em maio de 2011 e é o caso de número 72 do site, trata de uma empresa de grande porte produtora de peças e acessórios para motores de combustão interna da cidade de Mogi Guaçu que tem como produtos principais pistões e bielas. Possui uma produção média anual de cerca de 18000 peças.

Esta empresa, em seu processo de usinagem, já realizava a separação dos cavacos impregnados com óleo de corte integral através de caçambas inclinadas para facilitar o

processo de escoamento. Os cavacos são reciclados internamente e o óleo era enviado para uma empresa especializada em seu rerrefino, e foi a partir de testes realizados pela supervisão da empresa que foi encontrada uma oportunidade de reutilizar este fluido no processo de usinagem sem o rerrefino. A medida tomada foi a instalação de uma tubulação metálica nos carrinhos que levavam os cavacos impregnados com óleo, de forma que esse óleo retorne para o tanque de armazenamento para que possa ser reutilizado um novo processo de usinagem de pistões. A parte do óleo remanescente nos cavacos é separada nas caçambas através do escoamento.

O investimento total feito foi de R\$2000,00 para a instalação da nova tubulação de escoamento do óleo. A empresa teve uma redução nos custos de compra de óleo de, aproximadamente, R\$215000 por ano e a recuperação do óleo passou a ser de 2800 litros por mês.

2.5.3 Reaproveitamento de fluido de corte em uma metalúrgica de Santa Catarina

Vieira et al.(2012) expuseram um artigo no Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia de 2012 que relata a situação de uma empresa da cidade de Rio Sul em Santa Catarina. A empresa é considerada uma das maiores fabricantes da América Latina de guias, sedes, tuchos mecânicos de válvulas e fundidos em ligas especiais, focada principalmente em peças para o setor automotivo. Mais de 5 mil tipos de peças são oferecidas ao mercado abastecendo montadoras do Brasil e de 25 países da América Latina.

No artigo foi descrita uma maneira fácil e econômica com a qual a empresa passou a reaproveitar o óleo que antes era descartado junto com o cavaco dos processos de usinagem. A solução encontrada foi através de decantação em caçambas. O processo é feito através da retirada de cavaco dos centros de usinagem por uma esteira da própria máquina onde é executada a fabricação das peças, e os mesmos são levados até os carrinhos. Estes carrinhos transportam os cavacos impregnados com óleo de corte até as caçambas para armazenamento e decantação desse óleo. Após a decantação, o óleo fica armazenado em um reservatório abaixo das caçambas de onde é bombeado para um recipiente de 1000 litros, que serve como depósito para todo o óleo retirado dos cavacos, que após este processo passa a abastecer tornos CNC. Peças fabricadas no CNC não demandam um grau de pureza muito elevado dos óleos, o que favorece a utilização de óleos reaproveitados para este tipo de usinagem. Isto porque peças usinadas nos tornos não necessitam de que o óleo esteja com uma concentração

(água e óleo) maior que 3 % e também várias peças são banhadas em óleos protetivos quando há necessidade, com a finalidade de evitar que as peças oxidem.

A empresa tem obtido uma redução de consumo de óleo de 90 litros por mês e uma redução de custo de R\$13500,00 por ano.

2.6 EMPRESA METALÚRGICA ESTUDADA

A empresa analisada foi uma metalúrgica que tem sua unidade na cidade de Juiz de Fora cujo nome, a pedido de sua diretoria, não será divulgado no presente trabalho, sendo referenciada por Metalúrgica X. Esta metalúrgica é especializada na produção de peças em aço para a construção de estruturas metálicas, construção naval e estruturas offshore, construção civil e indústria de máquinas.

Funcionando há aproximadamente dois anos, apesar de ser uma empresa nova no mercado, a Metalúrgica X já conta com uma estrutura de máquinas e produção que lhe permite alcançar espaço de destaque em seu setor de mercado, podendo produzir, aproximadamente, 1000 toneladas mensais de aço e em pleno funcionamento, é capaz de produzir 30 mil toneladas por ano.

São realizados diversos processos como soldagem, corte, chanfro, furação e gravação. No entanto, pode-se destacar para os fins deste trabalho, o processo de furação com broca, pois é o maior responsável pela geração de cavaco e uso de fluidos de corte. É estimada pela empresa uma geração de 1844 quilogramas por mês de cavaco.

A Metalúrgica X possui 4 máquinas que são utilizadas para furação de chapas e perfis metálicos, sendo que duas delas foram tomadas como base para este estudo: a Peddinghaus HSFDB 2500 e a Ficep 1003.

A máquina Ficep 1003 (figura 5), destinada à furação de perfis, conta com um sistema para separação e reaproveitamento de fluidos de corte. Nela, os cavacos caem sobre uma pequena rampa que permite que o fluido de corte aspergido na peça durante a furação escoe por uma canaleta e o cavaco por uma esteira. Através da canaleta, o fluido é direcionado para um reservatório (figura 6), após passar por uma tela de orifícios de 5 mm que funciona como uma espécie de peneira para captar partículas que ainda permanecem no fluido, de onde é impulsionado por uma bomba (figura 7) para retornar à máquina e ser reutilizado. Os cavacos, após caírem sobre a esteira, são direcionados para uma caçamba (Figura 8) para que possam ser armazenados e vendidos posteriormente. Apesar deste sistema,

parte do fluido de corte continua impregnado nos cavacos e é arrastado pela esteira dos cavacos até a caçamba.



Figura 5: Ficep 1003
Fonte: Autor



Figura 6: Reservatório de fluidos para reaproveitamento
Fonte: Autor



Figura 7: Bomba para retorno do fluido à máquina
Fonte: Autor



Figura 8: Caçamba de armazenamento de cavacos
Fonte: Autor

A máquina Peddinghaus HSFDB 2500 (figura 9) realiza processo de furação em chapas metálicas e não possui sistema de separação e reaproveitamento dos fluidos de corte. Nessa máquina, os cavacos são removidos da chapa pelo próprio operador e destinados para uma caçamba para que possam ser vendidos posteriormente. Parte do fluido de corte cai sobre uma mesa que possui um pequeno orifício, de aproximadamente 15 mm, pelo qual o fluido escoar ou é forçado pelo próprio operador, que utiliza um rodo, para escoar. O operador da máquina inspeciona constantemente este orifício para evitar uma possível obstrução por excesso de partículas sólidas. Abaixo deste orifício é posicionado um pequeno recipiente onde o fluido é captado e posteriormente armazenado em um recipiente maior para que seja descartado. Segundo a própria empresa, este fluido não é reaproveitado por possuir grande quantidade de partículas sólidas metálicas visíveis, o que impediria de realizar um reaproveitamento semelhante ao da Ficep 1003.



Figura 9: Peddinghaus HSFDB 2500
Fonte: Autor

3. METODOLOGIA

Neste trabalho foi feita uma análise com base na situação da empresa Metalúrgica X visando estimar, através de experimentos preliminares, a quantidade de fluido de corte gasta durante o funcionamento de suas máquinas que, possivelmente, pode ser reutilizada. Desta forma, foi possível determinar o quanto poderia ser economizado caso fossem reaproveitados estes fluidos e propor medidas, condizentes com a realidade da empresa, que viabilizem este reaproveitamento.

Para esta análise foram feitas coletas diretamente da linha de produção, das máquinas Ficep 1003 e Peddinghaus HSFDB 2500. Na primeira, a amostra coletada foi referente aos cavacos após a separação que se destinam à caçamba e continuam impregnados com fluido, já na segunda é referente aos cavacos e fluidos gerados que não passam por sistema de separação. A escolha destas duas máquinas se baseou no fato de que são, de acordo com a própria empresa, as que possuem um maior gasto de fluido de corte em função do grande volume aspergido em condições normais de funcionamento, sendo responsáveis por uma média de gasto de 100 litros por mês. Além disso, são responsáveis pela maior parte da produção de cavacos, possuindo funcionamento contínuo em comparação com as outras máquinas que realizam muitas paradas para manutenção. Vale ressaltar que no início das atividades da empresa apenas estas duas máquinas funcionaram e a média de produção de cavaco sempre se manteve estável.

Tendo em vista que na Ficep 1003 já existe um sistema de separação dos cavacos e fluido de corte e reaproveitamento destes, a análise foi feita visando determinar o quanto de fluido impregnado nos cavacos ainda é perdido por este sistema e que poderia ser reaproveitado. Já na Peddinghaus HSFDB 2500, foi feita uma análise do quanto de fluido é eliminado junto aos cavacos e qual medida poderia ser implantada para viabilizar a reutilização deste fluido.

A figura 10 ilustra as etapas da metodologia de pesquisa do trabalho.

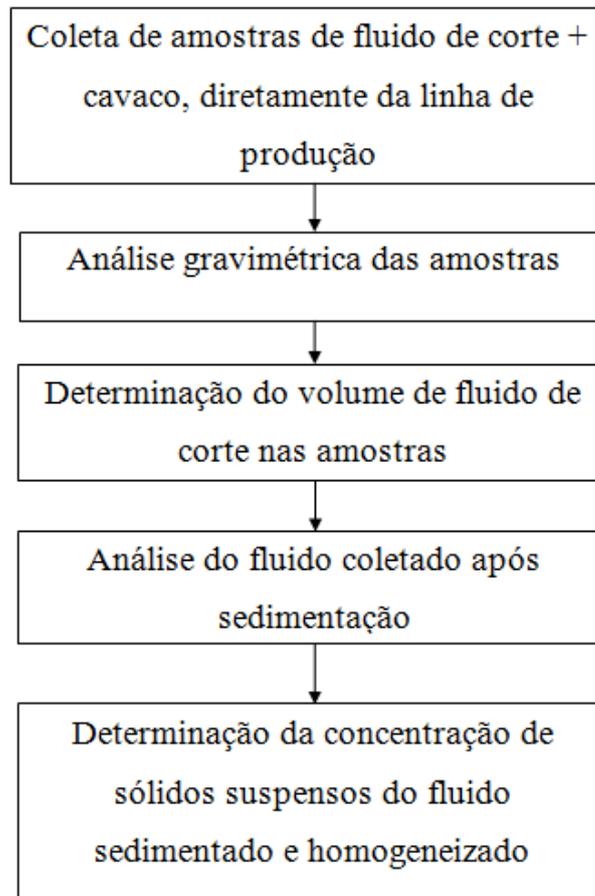


Figura 10: Fluxograma de metodologia
Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 COLETA DE AMOSTRAS

A coleta dos dados analisados foi feita na linha de produção da Metalúrgica X, retirados das máquinas Ficep 1003 e Peddinghaus HSFDB 2500.

As amostras foram coletadas em um intervalo de 2 horas de produção, em 3 dias diferentes. Dessa forma, foi possível coletar amostras representativas da produção média gerada da mistura de cavaco e fluido de corte e também obter uma quantidade satisfatória para a realização de uma análise em laboratório.

Foram utilizados galões de plástico de volume de 20 litros com peso de 500 gramas. Na máquina Ficep 1003 o galão foi posicionado no local onde são despejados os cavacos trazidos pela esteira para serem armazenados em uma caçamba, conforme a figura 11.



Figura 11: Coleta na máquina Ficep 1003
Fonte: Autor

Na HSFDB 2500 o galão foi posicionado abaixo do orifício por onde parte do fluido de corte escoa, conforme a figura 12, e os cavacos removidos da máquina pelo operador foram destinados para o galão ao invés de serem despejados na caçamba.



Figura 12: Coleta da máquina Peddinghaus HSFDB 2500
Fonte: Autor

3.2 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE FLUIDO

Neste trabalho, as determinações das quantidades de fluido foram feitas por pesagem das amostras e medição do volume de fluido contido nelas. Primeiramente foi realizada uma pesagem da amostra de cavaco e fluido de corte dentro do galão para a determinação do peso total. Posteriormente foi feita a remoção do fluido, sendo armazenado em uma proveta graduada para a determinação de seu volume e pesou-se o cavaco dentro do galão.

Este procedimento foi realizado para as amostras de cada dia das duas máquinas. Através da média dos valores obtidos foi possível estimar um número considerado representativo da quantidade de fluido descartado em função da quantidade de cavaco gerado.

3.3 ANÁLISE DO FLUIDO

O fluido de corte utilizado nas duas máquinas é o Nev Cold S450 que, de acordo com a descrição do fabricante, é um excelente óleo de corte solúvel utilizado no resfriamento de peças nos trabalhos de usinagem ou retifica de metais. Ele é um fluido sintético composto por óleo vegetal sulfonado, antioxidante, bactericida e aditivos. Em sua fórmula não há presença de enxofre livre ou cloro, permitindo alta capacidade anticorrosiva e impedindo reações secundárias que aceleram o desgaste de ferramentas e equipamentos. Para a aplicação em suas máquinas a Metalúrgica X utiliza uma proporção de 100 mililitros de fluido de corte para 1 litro de água, ou seja, a solução possui 10% de fluido de corte e 90% de água.

Através das figuras 13 e 14 a seguir é possível observar a diferença de aspecto entre o fluido de corte e a sua solução após a utilização na máquina.



Figura 13: Proveta com solução de fluido de corte da HSFDB 2500 após o uso
Fonte: Autor



Figura 14: Fluido de corte Nev Cold S450
Fonte: Autor

Após a pesagem e determinação do volume de fluido de cada amostra, elas foram colocadas em cones de sedimentação e observadas por um período de tempo de 24 horas. Cada uma das amostras obtidas para cada dia nas duas máquinas passou por processo de sedimentação para observar o comportamento do fluido e verificar se apenas a sedimentação pode torná-lo apto à reutilização. Em um cone de sedimentação graduado foi colocado o volume de 350 mL de cada amostra, conforme a figura 15 a seguir.



Figura 15: Amostra de fluido homogeneizado da Ficep 1003
Fonte: Autor

Após sofrerem sedimentação foi realizado um experimento em laboratório de determinação de sólidos suspensos com uma parte da amostra sobrenadante (correspondente à porção superior do fluido no cone após sofrer sedimentação) e com a outra homogeneizada (com as partículas sólidas distribuídas igualmente na solução assim como antes de sedimentar). A realização deste procedimento teve como objetivo avaliar os fluidos obtidos e, através de comparação, verificar a possibilidade de reutilização para a máquina HSFDB 2500.

Nas duas máquinas o fluido passa por tubos de diâmetro de 8 milímetros até ser aspergido na peça. Além disso, em ambas o fluido é bombeado para a máquina por uma bomba com restrição de tamanho máximo de partícula sólida de 2,5 mm. Portanto, a concentração de partículas sólidas que podem obstruir estes tubos e são alegados pela empresa como um empecilho ao reaproveitamento na HSFDB 2500, pode ser a mesma. Por isso, tendo em vista que o reaproveitamento já é realizado na Ficep 1003, os valores obtidos para esta

máquina foram tomados como referência para comparar e verificar a possibilidade de também reaproveitar os fluidos na HSFDB 2500.

O experimento de determinação de sólidos suspensos pode ser utilizado para a caracterização de efluentes industriais e é um procedimento que consiste em operações de filtração, secagem em estufa a 100 °C e pesagem. Assim, a amostra de fluido foi submetida à filtração em membrana com diâmetro de poros igual a 1,6 µm e posterior secagem. A massa de sólidos suspensos, correspondente à de sólidos com diâmetro de partícula superior a 1,6 µm, é determinada pela diferença entre a massa do resíduo retido na membrana somada à massa da membrana utilizada para separação, e a massa da membrana, previamente determinada.

Em maiores detalhes, neste experimento um volume conhecido da amostra homogeneizada de uma solução é transferido para um aparelho de filtração, provido de filtro fibra de vidro previamente pesado, e é filtrado a vácuo. Depois de completada a filtração, o material retido é lavado com três porções de 10 mL de água destilada, permitindo drenagem completa após cada lavagem. O filtro fibra de vidro é transferido para um cadinho, previamente pesado, e é secado em estufa a 103-105 °C por 1 hora. Então, é retirado da estufa e mantido em um dessecador por, no mínimo, 2 horas antes da pesagem. A fórmula utilizada é a seguinte:

$$SST = \frac{C - D}{VOLUME DA AMOSTRA}$$

Sendo C o peso seco do resíduo, cadinho e filtro em mg/L, e D o peso seco do cadinho e filtro em mg/L.

4. RESULTADOS

4.1 SITUAÇÃO ATUAL DAS MÁQUINAS ESTUDADAS

Para ambas as máquinas que serviram como objeto para este estudo não existem, por parte do fabricante, sugestões de um sistema para reaproveitamento dos fluidos de corte. Portanto, o sistema criado para a máquina Ficep 1003 foi uma adaptação criada pela própria empresa e seu desenvolvimento se baseou exclusivamente em observações e tentativas de adequar à máquina.

Neste sistema, o fluido, após a utilização, é destinado para um reservatório com 4 compartimentos, conforme a figura 16 a seguir.



Figura 16: Reservatório de fluidos da Ficep 1003
Fonte: Autor

Cada um destes compartimentos possui separadores com níveis diferentes, de forma que o fluido sofra sedimentação e sua porção sobrenadante escoe para o compartimento de nível inferior seguinte até sofrer sedimentação nos 4 compartimentos. Após chegar ao último deles, o fluido é succionado pela bomba passando por um filtro, conforme mostrado na figura 17.



Figura 17: Filtro do sistema de recuperação da Ficep 1003
Fonte: Autor

Este sistema requer constante manutenção e limpeza para que o fluido que retorna à máquina possua qualidade suficiente para um bom acabamento da peça e refrigeração das brocas. Por isso, a limpeza dos tanques e filtro por parte dos colaboradores deve ser constante. Apesar da criação deste sistema, a empresa não possui um controle em relação à quantidade de fluido que é reaproveitada.

No caso da máquina HSFDB 2500, conforme já citado anteriormente, o fluido não é reaproveitado, pois a empresa alega que ele possui grande quantidade de partículas sólidas metálicas visíveis, baseada apenas na aparência visual do fluido após o uso.

Todo fluido de corte descartado pela Metalúrgica X é recolhido por uma empresa terceirizada que compra óleo lubrificante usado de máquinas. Esta empresa fornece o tratamento adequado aos fluidos de corte e, portanto, a Metalúrgica X não possui nenhum gasto com o tratamento e descarte deste efluente.

Contudo, um fato que chama atenção é que a bomba e o sistema de tubos que enviam o fluido de corte são iguais nas duas máquinas. Os tubos utilizados possuem diâmetro de 8

mm e a bomba utilizada é uma bomba pneumática com conexões de entradas e saídas de 1/2" (12,7 mm) que tem suas especificações apresentadas a seguir.

Tabela 1: Especificações de performance da bomba

Pressão do ar de alimentação	0,69 - 6,9 bar
Pressão de saída do fluido	0,69 - 6,9 bar
Vazão máxima	54,5 l.p.m
Volume de descarga por ciclo	0,15 L
Tamanho máximo de partícula	2,4 mm
Nível de ruídos	75 db

A determinação de uma forma de recuperar o fluido perdido juntamente com os cavacos na Ficep 1003 e a utilização de um sistema para viabilizar o reaproveitamento na HSFDB 2500 são os pontos que foram analisados neste trabalho para economia da Metalúrgica X com fluido de corte.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS POR ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

No que se diz respeito à determinação do volume de fluido passível de ser reaproveitado nas duas máquinas avaliadas, foram obtidos os seguintes resultados.

Tabela 2: Resultados obtidos nos ensaios de determinação do volume de fluido passível de aproveitamento

Máquinas	Ficep 1003			HSFDB 2500		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
Dia						
Massa dos cavacos (kg)	2,7	2,1	1,8	1,7	2,5	3,1
Volume de solução (fluido+água) (mL)	600	450	395	610	910	1100
Volume de solução perdida por massa de cavaco (mL/kg)	222	214	219	359	364	355

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

Analisando os resultados obtidos, foi possível estimar alguns valores que indicam medidas a serem tomadas visando possíveis benefícios para a empresa.

Na Ficep 1003 foram obtidos os valores de 222 mL/kg no primeiro dia de coleta, 214 mL/kg no segundo dia de coleta e 219 mL/kg no terceiro dia de coleta da solução aquosa de

fluido com concentração inicial 10% de fluido de corte e 90% de água. Logo, através da média destes três valores, obteve-se que 219 mL desta solução são perdidos a cada 1 kg de cavaco. O correspondente a 10% deste valor seria o volume de fluido de corte, que é de 22 mL a cada 1 kg de cavaco e o correspondente a 90% deste valor seria o volume de água, que é de 197 mL a cada 1 kg de cavaco. Para esta média de 219 mL/kg de solução o valor do desvio padrão das amostras coletadas foi de 4 mL/kg.

Para a HSFDB 2500, foram obtidos os valores de 359 mL/kg no primeiro dia de coleta, 364 mL/kg no segundo dia de coleta e 355 mL/kg no terceiro dia de coleta da solução aquosa de fluido com concentração inicial 10% de fluido de corte e 90% de água. Mais uma vez, através da média destes três valores, tem-se que 359 mL desta solução são perdidos a cada 1 kg de cavaco. O correspondente a 10% deste valor seria o volume de fluido de corte, que é de 36 mL a cada 1 kg de cavaco e o correspondente a 90% deste valor seria o volume de água, que é de 323 mL a cada 1 kg de cavaco. Para esta média de 359 mL/kg o valor do desvio padrão das amostras coletadas é de 5 mL/kg.

A média dos dois valores de fluido de corte perdido por kg de cavaco para cada máquina é de 29 mL/kg. Tendo em vista que a empresa não possui valores da quantidade de cavaco gerado por máquina, esta média foi considerada para a estimativa da quantidade total de fluido de corte Nev Cold S450 perdida juntamente com os cavacos. Além disso, foi também interessante determinar a média dos dois valores obtidos para a quantidade de água perdida por kg cavaco a fim de se estimar o volume de água descartado. Esta média é de 260 mL/kg.

Sabendo-se que a produção mensal de cavaco é de 1844 kg tomou-se como base para este estudo um mês em que apenas a Ficep 1003 e a HSFDB 2500 funcionaram normalmente, fato este que é comum na empresa, pois estas duas máquinas trabalham com peças que possuem maior demanda e realizam poucas paradas em comparação com as máquinas que também fazem processo de furação. Dessa forma, ao multiplicar a média de 29 mL/kg de fluido por cavaco por 1844 kg obteve-se o valor de, aproximadamente, 53 litros de fluido de corte perdidos por mês. O mesmo foi feito para a água, ao multiplicar 1844 kg por 260 mL/kg, obteve-se, aproximadamente, 480 litros de água perdidos por mês.

O gasto médio mensal com o fluido de corte Nev Cold S450 utilizado nas duas máquinas é de R\$1050,00, sendo consumida uma média de 100 litros por mês com um valor de R\$10,50 por litro. Dessa maneira, o valor de 53 litros perdidos é equivalente a cerca de R\$559 que poderia ser economizado mensalmente com o fluido de corte. Isto representa

aproximadamente 53% do valor mensal gasto com o fluido. Para ficar mais claro, se o reaproveitamento do fluido fosse realizado ao longo de 1 ano a economia de fluido seria equivalente a cerca de 6 meses de gasto com ele.

Sabendo que a empresa paga R\$7,00 por m³ de água, o volume de 480 litros perdidos é equivalente a cerca de R\$40 por ano. Totalizando as perdas com fluido de corte e água verifica-se que a empresa poderia ter uma economia mensal de R\$563.

Vale ressaltar que os valores acima apresentados foram feitos com base em estimativas visando uma aproximação dos valores reais. Os valores obtidos de desvio padrão para as amostras da Ficep 1003 de 4 mL/kg e da HSFDB 2500 de 5 mL/kg podem ser entendidos como um indício de que a produção sofre variações de um dia para o outro. Por isso, para uma determinação mais precisa do comportamento desta produção seria necessária uma análise valendo-se de um maior intervalo de tempo para obtenção de mais amostras. Contudo, as amostras obtidas e os valores estimados através delas servem como um indicativo de que a reutilização do fluido de corte perdido pelas duas máquinas representaria uma economia de gastos para a empresa.

4.4 ANÁLISE DO FLUIDO COLETADO

Para a determinação da viabilidade do reaproveitamento dos fluidos descartados pela Metalúrgica X foi importante a realização de análises das amostras coletadas. Sabendo que na máquina Ficep 1003 já existe um sistema para reaproveitamento e a estrutura para o transporte do fluido até à máquina é igual ao da HSFDB 2500, o fluido perdido juntamente com os cavacos na Ficep 1003 (que teoricamente deveria ser destinado ao reservatório para reaproveitamento) foi utilizado como parâmetro para a verificação da viabilidade de se reaproveitar o fluido da HSFDB 2500.

4.4.1 Teste de sedimentação

As amostras obtidas para cada dia nas duas máquinas passaram por processo de sedimentação durante um período de 24 horas. Após as primeiras 2 horas todas sedimentaram e se estabilizaram como pode ser visto, por exemplo, na figura 18 abaixo.



Figura 18: Amostra de fluido sedimentado da Ficep 1003
Fonte: Autor

Os valores obtidos de resíduos sedimentados foram os seguintes:

Tabela 3: Volume de sólido sedimentado

Máquina \ Dia	1º dia	2º dia	3º dia
Ficep 1003	8,5 mL	8,5 mL	1 mL
HSFDB 2500	2,5 mL	0,3 mL	0,9 mL

Através desta análise foi possível observar que parte das partículas sólidas do fluido sofreu sedimentação, porém, apenas este processo pode não ser suficiente. Como era de se esperar é necessária outra medida após a sedimentação para tornar o fluido apto ao reaproveitamento. Isto é exatamente o que acontece no sistema da máquina Ficep 1003, onde após a saída do tanque de armazenamento em que sofre sedimentação o fluido passa por um filtro.

4.4.2 Análise do teor de sólidos suspensos

Os resultados obtidos para a o teor de sólidos presentes em cada amostra são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 4: Resultados do teor de sólidos de cada amostra

Máquina	Ficep 1003			HSFDB 2500		
Dia	1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia
Fluido sobrenadante pós-sedimentação	0,05 g/L	0,16 g/L	0,61 g/L	0,68 g/L	0,56 g/L	0,63 g/L
Fluido homogeneizado	2,79 g/L	6,94 g/L	2,07 g/L	1,23 g/L	0,92 g/L	0,78 g/L

Como esperado os valores de concentração de sólidos para as amostras que sofreram sedimentação são inferiores aos valores das amostras homogeneizadas. Um aspecto que chama atenção é o fato de que os valores obtidos para as concentrações do fluido homogeneizado na Ficep 1003 são claramente superiores aos valores na HSFDB 2500. Uma justificativa para isso pode ser o fato de que, em função do sistema de reaproveitamento existente na Ficep 1003, o fluido reutilizado que se mistura com o fluido novo no reservatório carrega partículas sólidas tornando sua concentração maior. Em contrapartida, na HSFDB 2500 o fluido que é utilizado sempre é um fluido novo.

Ao analisar apenas os valores obtidos para a Ficep 1003, com a ajuda do gráfico da figura 19 e sua barra de erro, foi possível observar que a variação para o fluido homogeneizado foi consideravelmente maior em comparação com o fluido sobrenadante pós-sedimentação. Um fator de influência disso seria o acúmulo de resíduos no reservatório, que pode ter sido maior ou menor de acordo com a ocorrência de limpeza e manutenção coincidindo ou não com os dias da coleta de amostras.

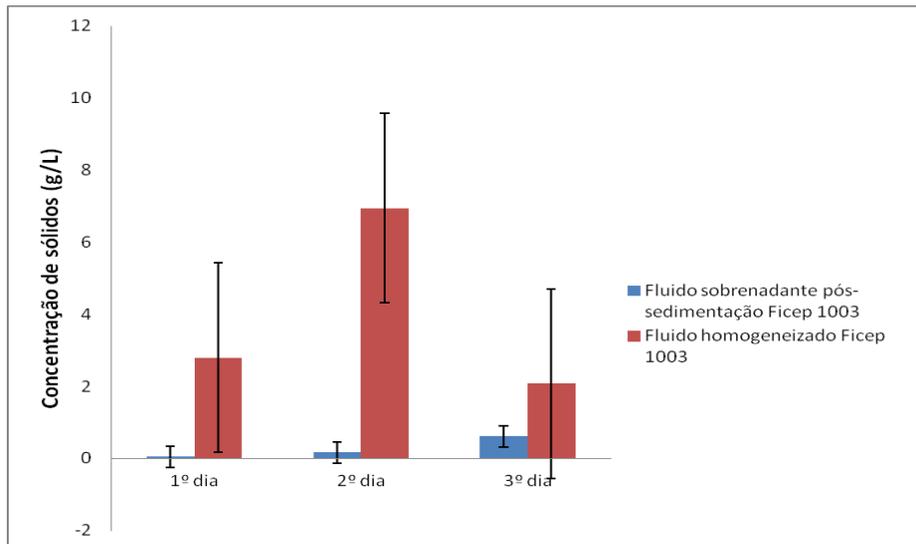


Figura 19: Concentração de sólidos - Ficep 1003

Fonte: Autor

Através da análise feita apenas dos valores obtidos para a HSFDB 2500, com a ajuda do gráfico da figura 20 e sua barra de erro, foi possível observar que a variação dos dados para o fluido homogeneizado foi pouco maior, pois as duas variações são menores. Para o fluido homogeneizado o desvio padrão foi de 0,23 e para o fluido sedimentado 0,06. Essa regularidade de valores pode ser explicada pelo não reaproveitamento de fluido.

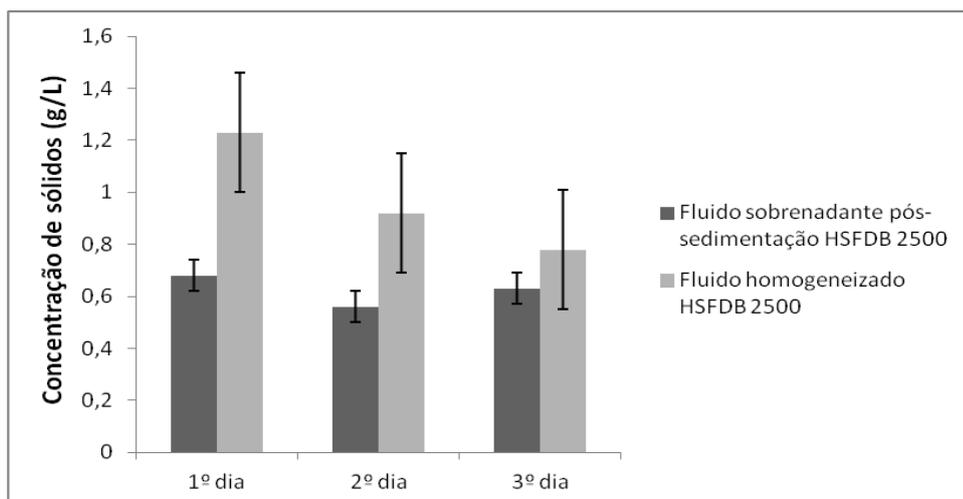


Figura 20: Concentração de sólidos - HSFDB 2500

Fonte: Autor

Outra comparação relevante foi feita entre as concentrações de sólidos no fluido sobrenadante pós-sedimentação da Ficep 1003, do fluido sobrenadante pós-sedimentação da HSFDB 2500 e do fluido homogeneizado da HSFDB 2500, como pode ser observado no gráfico da figura 21. Esta comparação pode ajudar a determinar a viabilidade de reaproveitamento para a HSFDB 2500, pois, na prática, após sofrer sedimentação o fluido da Ficep 1003 passa por um filtro e um processo semelhante pode ser empregado na HSFDB 2500.

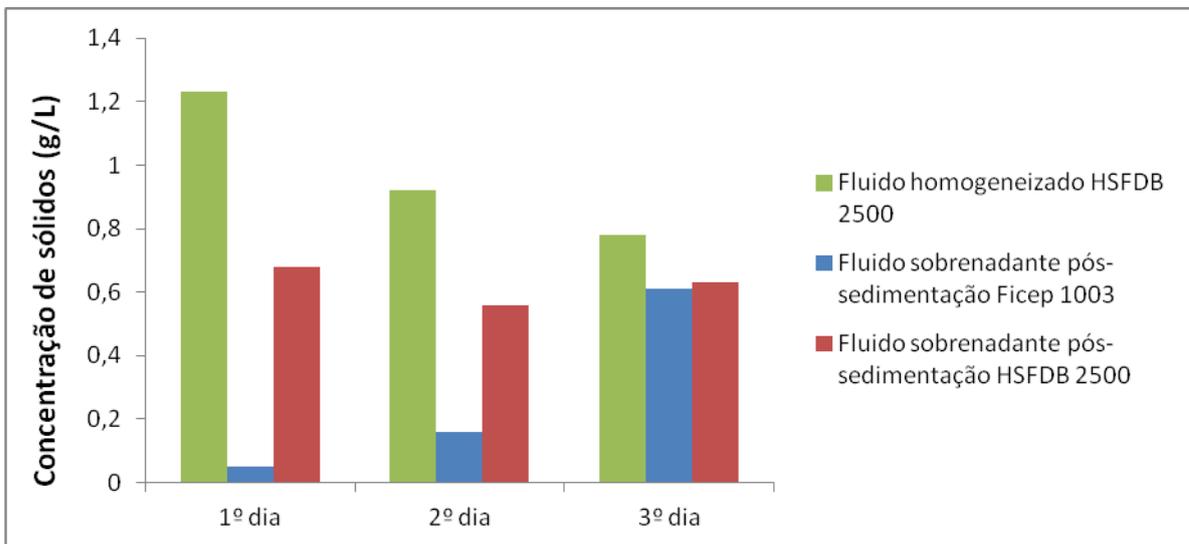


Figura 21: Concentração de sólidos - Ficep 1003 e HSFDB 2500
Fonte: Autor

Observando estes valores verifica-se que a concentração de sólidos no fluido sobrenadante pós-sedimentação da Ficep 1003 é inferior às outras duas amostras, no entanto, em uma proporção não muito grande. Tal fato pode ser um indício de que o reaproveitamento do fluido da HSFDB 2500 é viável.

4.5 SUGESTÕES DE MÉTODOS PARA REAPROVEITAMENTO DO FLUIDO

Para a determinação de possíveis métodos a serem utilizados pela Metalúrgica X foram avaliados os diversos sistemas e máquinas existentes. Com o objetivo de propor e mostrar que existe mais de uma maneira para viabilizar o reaproveitamento, foram pesquisadas e avaliadas as máquinas produzidas por diversos fabricantes de produtos destinados ao reaproveitamento em usinagem e tratamento de efluentes industriais. Foram

analisadas máquinas que se baseiam nos métodos de centrifugação, filtração e separação magnética, sendo cada uma delas com características que se adequam ao volume gerado de fluido de corte nas máquinas estudadas.

4.5.1 Separador magnético

Os separadores magnéticos funcionam realizando a remoção de pequenas partículas magnetizáveis, através de um tambor rotativo magnetizado que atrai as partículas metálicas removendo-as do fluido. Eles são um dos dispositivos mais recomendados para fluidos de corte de baixa viscosidade como soluções, que é o caso do fluido analisado neste trabalho. Por ser um sistema que possui limitação de tamanho, é mais indicado para utilização em uma ou duas máquinas.

Como o separador é mais indicado para a remoção de pequenas partículas, ele pode ser aplicado no tratamento do fluido utilizado na máquina HSFDB 2500. Apesar do grande tamanho dos cavacos gerados, pequenas partículas metálicas acabam sendo arrastadas no fluido durante o processo. Além disso, segundo os fabricantes, o entrelaçamento das partículas de impurezas magnetizadas nos tambores forma uma rede que carrega também partículas não metálicas, favorecendo a limpeza.

Entre os separadores magnéticos pesquisados, a melhor opção obtida em função do preço e das características que se adequam ao volume de fluido descartado pela HSFDB 2500, foi do fabricante Texius mostrado na figura 22 a seguir.



Figura 22: Separador magnético Texius
Fonte: Fornecido pelo fabricante

De acordo com a descrição do produto, sua forma construtiva permite que o rolo tenha uma maior força de atração magnética, pois é composto por flanges acoplados a ímãs

que são intercalados em anéis de Aço Inox AISI 316 (não magnéticos), por este fato, as linhas de força obrigam-se a “saltar” de uma flange para outra, o que aumenta a força de atração do rolo magnético. Para evitar o desperdício de fluido pode ser utilizado um rolo secador de borracha que prensa as partículas magnéticas deixando-as o mais seco possível.

O modelo a ser utilizado teria uma vazão máxima de 4000 litros por hora e possui um motor trifásico de 0,25 CV. Em função de suas medidas, que são mostradas na figura 23, o separador magnético poderia ser alocado abaixo da mesa por onde escoo o fluido de corte de forma que o fluido passasse pelo separador antes de ser armazenado para reutilização. O valor do separador é de R\$12823,00 e, de acordo com o fabricante, o gasto com manutenção é de cerca de R\$120,00 a cada 3 anos.

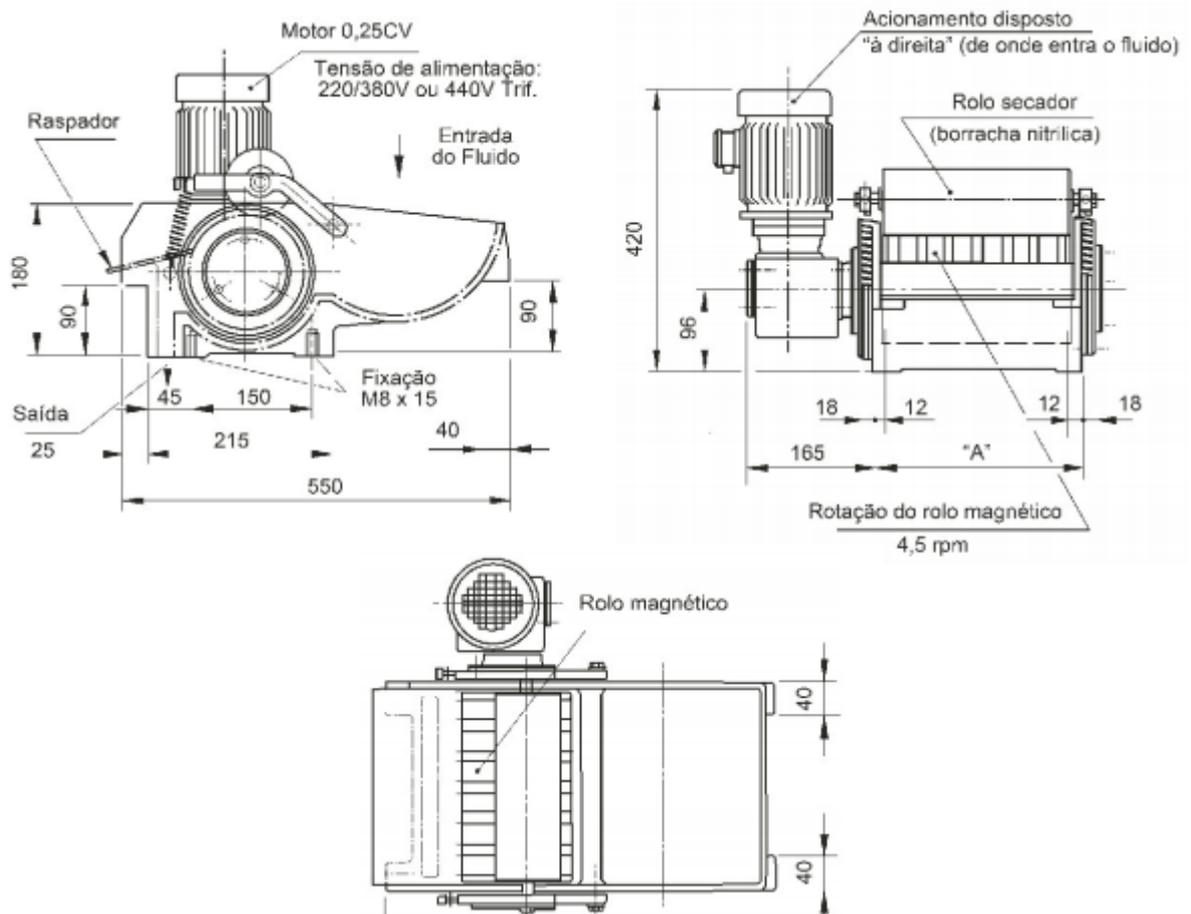


Figura 23: Especificações do separador magnético Texius
Fonte: Fornecido pelo fabricante

4.5.2 Centrífuga

As máquinas centrífugas separam os contaminantes mais leves ou mais pesados dos fluidos através da ação da força centrífuga. Podendo operar em diferentes velocidades dependendo do objetivo de separação, a maioria das centrífugas encontradas no mercado são equipadas com cestos onde ficam retidas as impurezas.

As centrífugas são eficientes na separação dos fluidos de corte dos cavacos, porém, para todos os fabricantes pesquisados, nenhum deles garantiu que após esta separação o fluido está apto para a reutilização. Dessa forma, a utilização de centrífugas na Metalúrgica X, pode ser viável para a Ficep 1003 com o objetivo de recuperar os fluidos que ficam impregnados nos cavacos. Isto porque após esta separação, o fluido obtido poderia passar por processo de sedimentação e filtração através do sistema já existente.

Entre as opções de centrífugas pesquisadas, a melhor delas, em função do preço e da baixa capacidade que se adequa ao volume de fluido gerado pela Ficep 1003, foi a do fabricante GV máquinas, conforme a figura 24 a seguir.



Figura 24: Centrífuga GV Máquinas
Fonte: GV Máquinas

Nesta centrífuga o cavaco deve ser colocado no interior do cesto e, após a centrifugação, é descarregado pelo seu fundo e os fluidos saem do processo através de uma abertura para dreno. Esta centrífuga tem uma capacidade de 10 a 50 kg ou volume de 20 litros e é construída em material de aço carbono com espessura no corpo de 4 mm e no fundo, onde sofre maior agressão, tem espessura de 8 mm. Possui um motor de 1,5 CV e resistência para aquecimento de 1500 Watts. Além disso, tem recursos como tampa com sistema de contra peso para evitar queda acidental, pedal de freio e, como opcional disponibilizado, um conjunto de automação e segurança. Em função de seu tamanho a centrífuga poderia ser alocada na fábrica ao lado da Ficep 1003, próxima ao seu reservatório de reaproveitamento, de forma que o fluido drenado possa ser facilmente direcionado e armazenado neste reservatório. Suas dimensões e características são mostradas na tabela a seguir.

Tabela 5: Especificações da centrífuga GV Máquinas

Dimensões da máquina	Diâmetro	550 mm
	Altura	650 mm
Dimensões do cesto	Diâmetro	400 mm
	Altura	250 mm
Rotação do cesto		650 rpm
Peso		145 kg

O valor da centrífuga é de R\$8890,00, e juntamente com o sistema de automação e segurança seu valor é de R\$15670,00. Segundo o fabricante, o gasto com manutenção é de, aproximadamente, R\$300,00 a cada 1 ano.

4.5.3 Transportador de cavaco com filtro tambor integrado

Os transportadores de cavacos são utilizados para transportar o cavaco gerado no processo de usinagem da peça trabalhada até a caçamba onde este cavaco é armazenado. Contudo, uma versão diferente de transportador possui um filtro a tambor que permite otimizar o processo, mantendo o transporte de cavacos e realizando a filtração do fluido de corte.

Este transportador tem como princípio de transporte uma esteira articulada e o princípio de filtração é do tipo filtro tambor rotativo contínuo. O elemento filtrante é uma tela

de inox permanente com granulometria de 150 μm e possui um cartucho como meio filtrante secundário que, de acordo com o fabricante, deve ter entre 10 μm e 80 μm para este tipo de aplicação. Tem como componentes um tanque reservatório, um motor de acionamento automático da esteira, controladores de nível e motobomba de alimentação e lavagem do elemento filtrante. O fabricante do transportador é a empresa Metals e o modelo é mostrado na figura 25 a seguir.



Figura 25: Transportador Metals
Fonte: Fornecido pelo fabricante

A utilização desta transportadora poderia ser feita na máquina HSFDB 2500 em substituição à mesa inferior onde caem os cavacos e o fluido de corte. Seria necessária a remoção dos cavacos e do fluido de corte da chapa trabalhada com a utilização de uma espécie de rodo, conforme ocorre atualmente. Através do fornecimento das medidas desta mesa o fabricante forneceu um desenho (figuras 26 e 27) para um esboço de como ficaria o sistema adequado às características da HSFDB 2500.

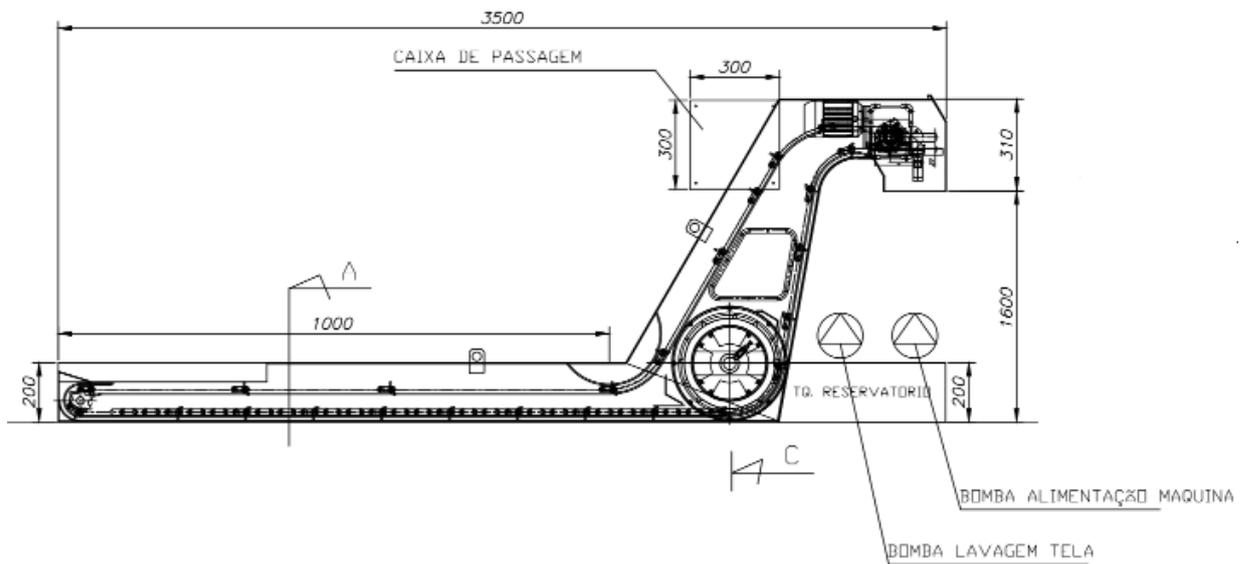


Figura 26: Esboço do transportador Metals
Fonte: Fornecido pelo fabricante

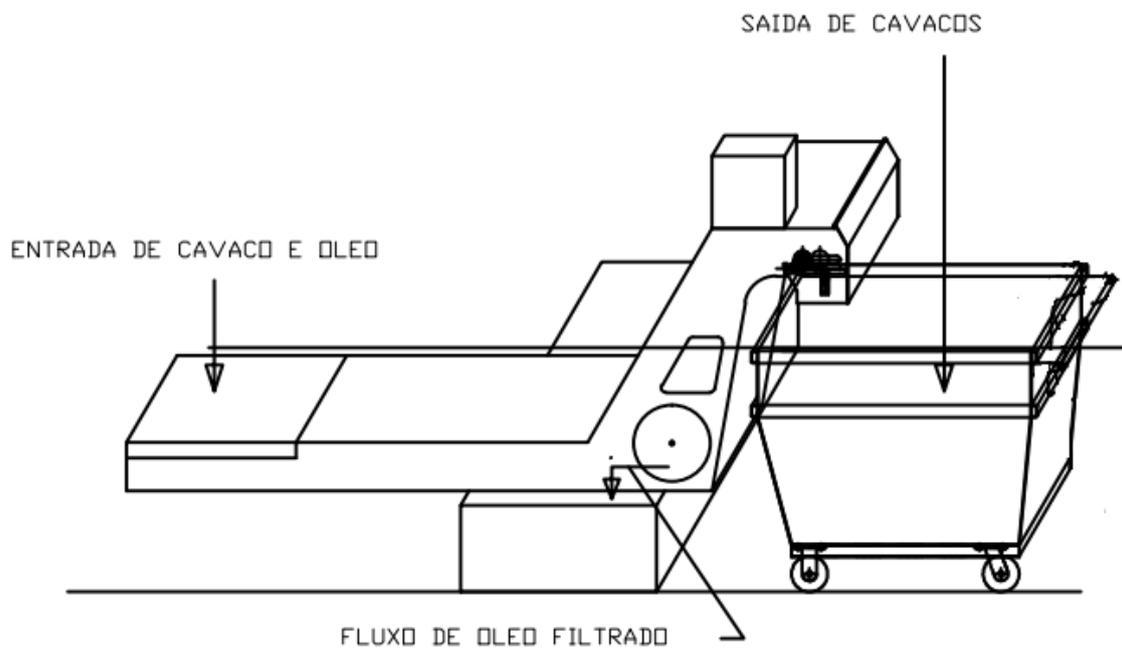


Figura 27: Esboço do transportador Metals
Fonte: Fornecido pelo fabricante

As informações fornecidas pelo fabricante são referentes a uma proposta comercial, sendo necessária para obtenção de maiores detalhes a solicitação de um projeto. O preço da transportadora é de R\$27200,00. De acordo com o fabricante, o gasto com manutenção é de R\$600,00 a cada 5 anos.

4.5.4 Sistema com filtro e tanque de sedimentação

Os sistemas de filtração para fluidos de corte, como qualquer outro sistema de filtração, consistem na passagem do fluido através de um meio poroso com o objetivo de reter partículas. O meio filtrante utilizado pode ser de materiais diferentes variando com o tipo de aplicação desejada.

O sistema de reaproveitamento existente na máquina Ficep 1003 se baseia na combinação de um processo de sedimentação com filtração. Portanto, em função das características do fluido analisado de cada máquina, um sistema semelhante a este poderia ser utilizado na HSFDB 2500.

Mantendo-se a estrutura existente na HSFDB 2500, o fluido que é removido pelo operador e destinado para um recipiente para posterior descarte, seria destinado para um reservatório de reaproveitamento onde sofreria sedimentação e através da utilização de um filtro, seria filtrado antes de chegar à bomba.

Entre as opções de filtros pesquisadas, a melhor escolha seria por um filtro da fabricante SMC. Para a escolha do modelo correto, através do fornecimento das especificações da bomba que faz a sucção do fluido de corte e a aplicação do filtro que é para filtração de fluido de corte, entre os diversos modelos fabricados, o fabricante indicou os modelos que seriam mais adequados.

Os modelos indicados foram o FGDEA-04-T-010 e o FGDEB-04-T-010, mostrados na figura 28, que são filtros próprios para fluidos de corte de usinagem, sendo seus elementos filtrantes de fibra de polipropileno com granulometria de 10 μm , ideais para baixas vazões e pressão, como no caso da bomba utilizada que possui 54,5 lpm de vazão e pressão de trabalho entre 0,69 bar e 6,9 bar. A diferença de um para o outro é a presença do número de elementos filtrantes, enquanto o FGDEA-04-T-010 tem um elemento, o FGDEB-04-T-010 possui dois, o que garante maior vida útil em função do menor desgaste. As especificações dos filtros são mostradas na tabela.

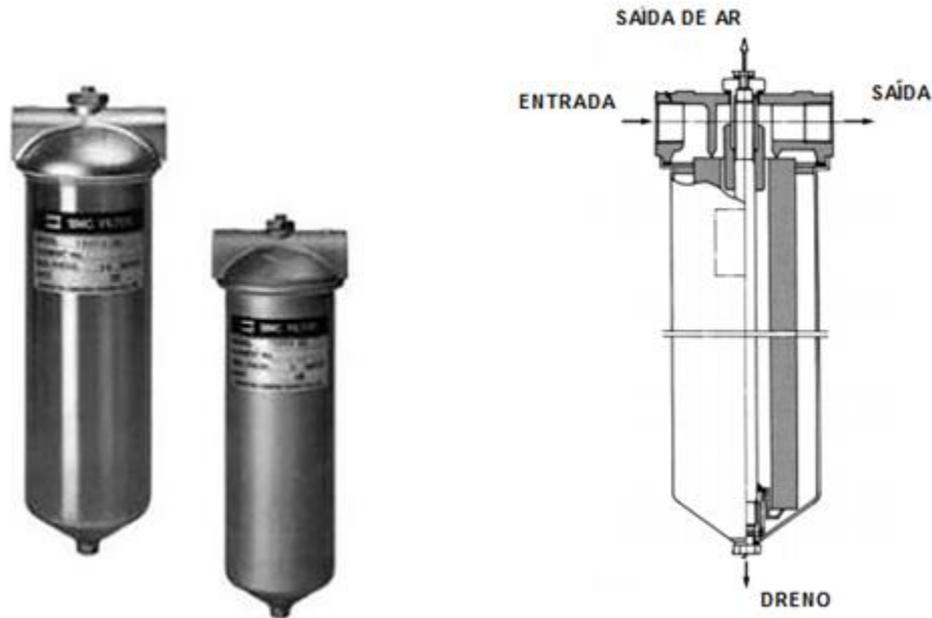


Figura 28: Filtros FGDEA-04-T-010 e FGDEB-04-T-010
 Fonte: Fornecido pelo fabricante

Tabela 6: Características dos filtros SMC

Características	FGDEA-04-T-010	FGDEB-04-T-010
Conexões de entradas e saídas (mm)	12,7	12,7
Pressão máxima de operação (MPa)	0,7	0,7
Temperatura de operação (°C)	0 a 80	0 a 80
Diâmetro do elemento filtrante (mm)	65	65
Diâmetro total (mm)	108	108
Comprimento do elemento filtrante (mm)	250	500
Comprimento total (mm)	346	606
Peso (kg)	1,3	2,2
Capacidade interna (L)	1,7	3,4

O valor do filtro FGDEA-04-T-010 é de R\$750,00 e do FGDEB-04-T-010 é de R\$900,00. Em função da maior vida útil, o modelo FGDEB-04-T-010 foi o escolhido para as análises que serão apresentadas mais a frente no presente trabalho. Tendo em vista que o reservatório de 300 litros utilizado para armazenamento e sedimentação do fluido da Ficep 1003 foi fabricado internamente pela Metalúrgica X com chapas de aço reaproveitadas, o

mesmo poderia ocorrer para o reservatório da HSFDB 2500. Dessa maneira, o custo do sistema de reaproveitamento seria apenas com a compra do filtro.

4.5.5 Caçamba com dreno

Uma alternativa para recuperar o fluido perdido juntamente com os cavacos no sistema da Ficep 1003 seria a utilização de caçambas com válvula para a drenagem do fluido de corte. Este modelo é uma caçamba basculante que possui dreno com válvula de esfera, peneira interna e formato, que permitem que o fluido impregnado no cavaco escoe para o fundo da caçamba para ser drenado.

Entre os fabricantes do produto pesquisados, a melhor opção encontrada foi a caçamba da SP Metal, que pode ser visto na figura 29.



Figura 29: Caçamba SP Metal
Fonte: Fornecido pelo fabricante

Existem diversos tamanhos disponibilizados pelo fabricante sendo que o menor deles, com dimensões de 1000 mm de comprimento, 650 mm de largura e 740 mm de altura e capacidade de carga de 250 kg é o mais adequado para a máquina Ficep 1003. Seu preço é de R\$1650,00.

4.6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Depois de propor métodos para a recuperação e reaproveitamento do fluido de corte, foi feita uma análise dos custos adicionais, além da compra do equipamento, com o intuito de

verificar a viabilidade de cada uma das alternativas. Para a realização desta análise levou-se em conta o preço de compra, o valor do transporte, depreciação e no caso das máquinas o consumo médio de energia elétrica e custo de manutenção. Para a estimativa do gasto médio mensal de energia elétrica utilizou-se o valor de R\$0,51 por kWh que é pago pela empresa e o consumo médio mensal em kWh fornecido pelo fabricante de cada máquina. Para o gasto com manutenção foram utilizados também os valores que foram fornecidos pelos fabricantes. Vale ressaltar que gastos com mão de obra para a realização de manutenção e instalação não foram considerados, pois a empresa possui funcionários especializados em realizar tais procedimentos. O cálculo de depreciação foi feito de acordo com o determinado pela Secretaria da Receita Federal que estipula o prazo de 10 anos para máquinas e equipamentos. Os custos de cada equipamento são mostrados na tabela a seguir.

Tabela 7: Representação de custos por máquina ou equipamento

Máquina / Equipamento	Preço (R\$)	Taxa mensal de depreciação	Transporte	Taxa mensal de manutenção	Gasto médio mensal com energia elétrica
Separador magnético	R\$ 12.823,00	R\$ 106,86	R\$ 232,00	R\$ 3,33	R\$ 15,00
Centrífuga	R\$ 15.670,00	R\$ 130,58	R\$ 403,00	R\$ 25,00	R\$ 39,78
Transportador com filtro tambor integrado	R\$ 27.200,00	R\$ 226,67	R\$ 1.000,00	R\$ 10,00	R\$ 40,80
Sistema com filtro e tanque de sedimentação	R\$ 900,00	R\$ 7,50	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Caçamba	R\$ 1.650,00	R\$ 14,58	R\$ 150,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00

Foi analisada em conjunto a utilização de um método de reaproveitamento para a HSFDB 2500 e para a Ficep 1003. Isto porque o valor de R\$562,80 estimado anteriormente é referente à economia de fluido de corte e água das duas máquinas em conjunto. Dessa maneira, foram analisadas as possibilidades da empresa comprar a caçamba para a Ficep 1003 e o filtro para implantar o sistema com filtro e tanque na HSFDB 2500, a caçamba para a Ficep 1003 e o separador magnético para a HSFDB 2500, a caçamba para a Ficep 1003 e o transportador com filtro integrado para a HSFDB 2500, a centrífuga para a Ficep 1003 e o separador magnético para a HSFDB 2500, a centrífuga para a Ficep 1003 e transportador com

filtro integrado para a HSFDB 2500 e, por último, a centrífuga para a Ficep 1003 e o filtro para implantar o sistema com filtro e tanque na HSFDB 2500.

Para a determinação de qual seria o melhor investimento foi utilizada a Taxa Interna de Retorno (TIR). A TIR é um método muito utilizado para a análise de viabilidade econômica de investimentos e se baseia em uma taxa hipotética em percentual que demonstra o quanto rende um projeto considerando uma determinada periodicidade de fluxos de caixa (GITMAN, 2010). É interessante que o valor do TIR obtido seja comparado com o valor da taxa Selic ou com os custos de captação da empresa para determinar se um investimento deve ser realizado ou não. Neste trabalho os valores obtidos com o TIR foram comparados com a taxa Selic atual (4/09/2018) que é de 0,5262% ao mês. A fórmula geral do TIR é dada por:

$$0 = \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n}$$

Nesta fórmula, FC é o fluxo de caixa, N o número de períodos e TIR é a Taxa Interna de Retorno. O cálculo do TIR através da fórmula pode ser de grande dificuldade, por isso, foi utilizado o Microsoft Excel para o seu cálculo. Para a análise deste trabalho o fluxo de caixa utilizado foi o de R\$562,80 por mês subtraído dos custos anteriormente apresentados, durante um período de 120 meses que é o prazo de depreciação. Dessa forma foi possível avaliar em quanto tempo a economia gerada pelo reaproveitamento poderia viabilizar o pagamento do valor investido e qual seria o melhor investimento a ser feito. Na tabela a seguir são mostrados os valores do investimento (preço das máquinas ou equipamentos somado aos custos de transporte), valor de fluxo de caixa mensal (valor de R\$562,80 obtidos com o reaproveitamento subtraído da taxa mensal de depreciação, custo médio mensal com manutenção e gasto médio mensal com energia elétrica) e o TIR:

Tabela 8: Informações sobre os investimentos

Máquinas / Equipamentos	Investimento	Fluxo de caixa	TIR mensal
Caçamba + sistema com filtro e tanque	R\$ 2.800,00	R\$ 540,72	23,93%
Caçamba + separador magnético	R\$ 14.855,00	R\$ 423,03	2,82%
Caçamba + transportador	R\$ 30.000,00	R\$ 264,08	0,09%
Centrífuga + separador magnético	R\$ 29.128,00	R\$ 270,58	0,19%
Centrífuga + transportador	R\$ 44.273,00	R\$ 89,97	-1,97%
Centrífuga + sistema com filtro e tanque de sedimentação	R\$ 17.073,00	R\$ 359,94	1,93%

Entre os valores de TIR calculados apenas para a caçamba + sistema com filtro e tanque de sedimentação, caçamba + separador magnético e centrífuga + sistema com filtro e tanque de sedimentação foram superiores ao valor mensal da taxa Selic sendo 23,93% com tempo de recuperação de cerca 5 meses, 2,82% com tempo de recuperação de cerca de 3 anos e 1,93% com tempo de recuperação de cerca de 4 anos, respectivamente. Portanto, pode-se concluir que apenas estas três alternativas seriam bons investimentos para a Metalúrgica X.

Na opinião deste autor o melhor investimento seria na caçamba e sistema com filtro e tanque de sedimentação. Isto porque além de representar a opção com menor tempo de recuperação e maior TIR, o sistema com filtro e tanque de sedimentação é semelhante ao já existente na Ficep 1003 o qual a empresa já possui familiaridade.

5. CONCLUSÕES

Através do presente trabalho foi possível estimar valores para quantidade de fluido de corte, com potencial de reaproveitamento, gasta pelas máquinas da empresa estudada. Estimada a quantidade de fluido de corte das amostras foi possível também quantificar a economia da empresa caso reaproveitasse os fluidos na máquina HSFDB 2500, e caso aprimorasse seu sistema de reaproveitamento na máquina Ficep 1003. Os valores encontrados mostraram que o reaproveitamento de fluido pode ser uma boa alternativa para a redução do consumo, sendo a quantidade de fluido descartado equivalente a 53% do gasto mensal com a compra do mesmo.

Além disso, foi feita uma análise do fluido de corte através das amostras coletadas, por sedimentação e concentração de sólidos. Concluiu-se que apenas a sedimentação pode não ser suficiente para tornar o fluido apto ao reaproveitamento. Apesar disso, foi possível verificar que, em função da concentração de sólidos, o reaproveitamento do fluido perdido na HSFDB 2500 pode ser realizado.

Foram propostos métodos condizentes com a realidade da empresa estudada que poderiam viabilizar a recuperação e reutilização do fluido. Entre as opções analisadas chegou-se a conclusão de que a melhor escolha seria a caçamba com válvula para dreno para recuperação do fluido impregnado nos cavacos para a Ficep 1003 e o sistema com filtro e tanque de sedimentação para a HSFDB 2500.

O acesso restrito e o desconhecimento da empresa sobre certos dados foi um fator de dificuldade para o trabalho. Além disso, em função do constante funcionamento, a impossibilidade de se estudar minuciosamente as máquinas e suas particularidades in loco também foram um entrave.

Para trabalhos futuros recomenda-se um maior aprofundamento da análise realizada no presente trabalho, levando-se em conta maior grau de detalhamento à respeito das informações das máquinas que foram objetos para este estudo. Outra sugestão seria uma análise da possibilidade de implantação do método de Mínima Quantidade de Fluido (MQF) nas máquinas da empresa. Seria também interessante, na opinião deste autor, um trabalho que estudasse possíveis reduções no percentual de fluido de corte na composição da solução de fluido mais água.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 6175: processos mecânicos de usinagem. Rio de Janeiro, 1971.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT **NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

Brafer Construções Metálicas S/A. Disponível em: <http://brafer.com/>. Acesso em : 19/02/2018

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

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

CETSB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. P+L Casos de Sucesso. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/casos-de-sucesso/listagem-geral/setor-productivo-industria/>

EL BARADIE, M. A. "*Cutting fluids: Part I - Characterization*". Journal of Material Processing Technology 56, 786-797. Dublin, 1996.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1970, 751 pgs.

GITMAN, L. J.; **Princípios de Administração Financeira**, Editora Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2010.

GONÇALVES, Penha Suely de Castro. Boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem. 2008. xiv, 136 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Botucatu, 2008

HOWES, T.D., TÖNSHOFF, H.K., HEUER, W. *“Environmental aspects of grinding fluids”*. Annals of CIRP Vol. 40/2/1991.

IGNÁCIO, E. A. *“Caracterização da legislação ambiental voltada para a utilização de fluidos de corte na indústria metal-mecânica”*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Faculdade de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

KABELSCHLEPP DO BRASIL. *“Fornecedor de Sistemas de Filtragem”*. Disponível em: <http://www.kabelschlepp.com.br>

Kraemer M. E. P. **A questão ambiental e os resíduos industriais XXV ENEGEP**, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005 Porto Alegre, RS.

MACHADO, Á. R.; SILVA, M. B. da. **Usinagem dos Metais**. 8. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

MOTTA, M. F., MACHADO, A. R. *“Fluidos de corte: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção”*. Revista Máquinas e Metais, setembro, 1995, p44-56.

MORAES, C. A. M.; SIMON, L.; VARGAS, M. Análise de Métodos de Reaproveitamento de Cavaco Metálico Contaminado Considerando Abordagens de Ecoeficiência e Ecoefetividade. 5th International Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo 2015.

SIMEI, L. C. **Processos de usinagem convencionais**. Curso de Manutenção Mecânica. 2013. Notas de aula. Faculdade SENAI Roberto Simonsen.

TOCCHETTO, M. R. L. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**. Santa Maria: UFSM, 2005. 95 p. Curso de Química Industrial.

VIEIRA, Claudemir et al. Reaproveitamento de óleo de corte em centros de usinagem no setor de suportes na Metalúrgica Riosulense S.a. SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2012.

7. ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, ____ de _____ de 20____.

NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

Matrícula

ASSINATURA

CPF

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.