



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA DE MATERIAIS

ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE USINAGEM: ESTUDO DE CASO NA  
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Alessandra Frediani Dias de Castro

00118034

Professora Orientadora Andréa Moura Bernardes

Junho, 2010

Agradeço ao João Henrique dos Santos, pelo tempo e esforço que dedicou, respondendo e explicando, incansavelmente, aos meus muitos questionamentos. Agradeço, ainda, a toda equipe dos químicos da fábrica de motores, aos fornecedores e a minha orientadora.

## ÍNDICE

---

RESUMO	03
1 INTRODUÇÃO	04
2 OBJETIVOS	05
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	06
3.1 CUSTOS X QUALIDADE X MEIO AMBIENTE	06
3.2 CERTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	06
3.3 RESÍDUOS INDUSTRIAIS	08
3.4 RESÍDUOS PERIGOSOS NO RIO GRANDE DO SUL	09
3.5 USINAGEM	10
3.6 PRODUÇÃO MAIS LIMPA	14
3.7 USINAGEM MAIS LIMPA	15
3.8 RENAULT DO BRASIL	16
3.9 TUPY	18
4 METODOLOGIA DO PROJETO	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	20
5.1 LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL	20
5.2 APLICAÇÃO DO P+L PARA O PROCESSO DE USINAGEM	35
5.3 OPÇÕES DE PROCESSOS DE SEPARAÇÃO	35
5.4 VIABILIDADE ECONÔMICA	37
6 CONCLUSÕES	40
7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	41
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

## RESUMO

---

O processo de usinagem da fábrica de motores da Renault do Brasil gera resíduos. Estes resíduos são constituídos por fluido de corte e cavacos. As centrais de filtragem a vácuo e aluvião retornam ao processo a maior parte do óleo solúvel e do óleo integral, porém uma parte é enviada junto aos cavacos para reciclagem. Neste trabalho foram avaliados processos de separação de óleos/cavacos visando uma maior recuperação de óleos. Após a realização de um estudo de caso na Renault do Brasil, conclui-se que a melhor forma de aumentar a eficiência do retorno do fluido, que hoje é descartado por arraste junto aos cavacos, é adicionar uma etapa de separação via centrífuga ao processo. Esta adição é rentável na medida em que são minimizadas as perdas por reposição de fluido e em que ocorre diminuição no custo com o transporte destes resíduos que hoje carregam de 10 a 35% em massa a mais do que o necessário. Além disso, os cavacos de alumínio, quando limpos, aumentam seu valor agregado, gerando maior lucro na venda.

## 1. INTRODUÇÃO

---

Atualmente as empresas buscam sustentabilidade. Tornou-se uma necessidade, planejar e implementar ações para minimizar os impactos causados pela atividade industrial. Investir na qualidade é uma das formas de reduzir custos de reprocesso e de impactos ambientais, além de melhorar a imagem ambiental da empresa. Preocupadas com a imagem eco-amigável, muitas indústrias tem procurado obter certificações ISO.

As legislações estão mais rígidas com relação ao setor produtivo, responsabilizando-o pela geração dos resíduos e sua correta destinação. É interessante e econômico minimizar ao máximo a geração de resíduos, mas nem sempre é possível eliminá-los. Neste sentido, a busca pela utilização de tecnologias limpas faz o diferencial para as empresas. O reaproveitamento dos resíduos gerados minimiza os impactos ambientais causados.

O setor metal-mecânico realiza uma atividade impactante uma vez que produz resíduos classe I. Um dos processos mais utilizados na manufatura, em geral, é a usinagem. O uso de fluidos de corte neste processo é comum, devido à melhora nas condições tribológicas. O emprego de fluido de corte aumenta a vida da ferramenta, minimiza a geração de calor durante o processo, auxilia na remoção dos cavacos e, geralmente, melhora a eficiência do sistema produtivo. Estes fluidos, quando se tornam resíduos, são classificados como perigosos (classe I).

Os cavacos são resíduos intrínsecos ao processo de usinagem dos metais. Eles podem ser reciclados quando são vendidos como sucata. Porém, se eles estiverem impregnados de fluido de corte terão baixo valor agregado.

Na fábrica de motores da Renault do Brasil são gerados resíduos provenientes da usinagem. Estes resíduos passam por centrais de filtragem para retirar os cavacos de ferro fundido e de alumínio que serão vendidos para reciclagem à fundição Tupy. Junto com os cavacos é arrastada, uma quantidade de fluido de corte, que não retorna ao processo de usinagem e é perdida.

## 2. OBJETIVOS

---

Esta pesquisa aborda dois objetivos: i) investigar quais as principais vantagens e desvantagens, em termos ambientais e econômicos, de fazer a recuperação dos fluidos de corte que, atualmente, são perdidos nas caçambas dos cavacos advindos da usinagem da fábrica de motores da Renault do Brasil e ii) evidenciar os principais benefícios econômicos e ambientais da venda dos cavacos secos para reuso.

Para alcançar tal objetivo, a pesquisa busca fornecer subsídios para a tomada de decisão, sobre a viabilidade de adicionar mais uma etapa no final do tratamento atual de separação do fluido de corte dos cavacos provenientes do processo de usinagem da fábrica de motores da Renault do Brasil.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

#### 3.1 CUSTOS X QUALIDADE X MEIO AMBIENTE

As empresas identificaram nas questões ambientais um dos mais importantes fatores de sucesso para a continuidade da aceitação dos seus produtos nos mercados interno e externo. O dilema da empresa moderna é o de adaptar-se ou correr o risco de perder espaços arduamente conquistados. É imperativo aplicar princípios de gerenciamento ambiental condizentes com o desenvolvimento sustentável. (1)

Existem abordagens gerenciais que visam à qualidade organizacional como um todo. De acordo com Campos (2), o *Total Quality Control* – TQC é um sistema administrativo que é baseado na participação de todos os setores e empregados da empresa no que diz respeito ao estudo e condução do controle da qualidade. As principais dimensões de um TQC podem ser assim resumidas: i) qualidade (produto/serviço e rotinas/operações); ii) custo (custo e preço detalhados); iii) entrega (prazo, local e quantidade certa); iv) moral (satisfação dos empregados); e, v) segurança (empregados e clientes/usuários dos produtos). (2)

Antigamente, os especialistas e profissionais da área de produção acreditavam que para obter produtos de melhor qualidade era preciso aumentar os custos. Edwards Deming demonstrou ser menos custoso para as organizações um processo de alta qualidade, pois sua teoria prega que os produtos devem ser feitos corretamente desde a primeira etapa. Com isso, economias substanciais advêm da eliminação de retrabalhos e refugo de material não-conforme. (3)

Para Slack, a melhoria da qualidade contribui para o aumento da lucratividade da empresa. Através da alta qualidade, as receitas podem ser incrementadas por melhores vendas e por preços mais elevados. Além disso, os custos podem ser reduzidos pela melhor eficiência, produtividade e uso do capital. As operações de alta qualidade não desperdiçam tempo ou esforço com retrabalhos, sucatas e materiais refugados, portanto investimentos na qualidade diminuem os custos com questões ambientais. (4)

#### 3.2 CERTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Uma instituição que desenvolve e dissemina um conhecimento vasto na área ambiental é a ISO - *International Organization for Standardization*. A ISO é uma entidade não governamental, com sede na Suíça, que desenvolveu um conjunto de diretrizes que especifica, descreve e orienta todo o processo de certificação, auditoria e avaliação do Sistema de Gestão Ambiental. Esse conjunto de diretrizes é denominado pela entidade como “Família ISO 14000”. Essa família de normas compreende duas dimensões: o nível organizacional e o nível de produtos e serviços. Ao nível organizacional, as normas descrevem os seguintes padrões: i) implementação do Sistema de Gestão Ambiental – SGA; ii) condução de auditorias e investigações ambientais; e, iii) avaliação do desempenho ambiental. Quanto ao nível de produtos e serviços, as normas descrevem: i) uso dos requisitos e declarações ambientais; ii) condução e liderança da avaliação do ciclo de vida; e, iii) direção dos aspectos ambientais para produtos e sua padronização. (5)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, entidade privada, independente e sem fins lucrativos, atua na área de certificação, sendo o único representante da *International Organization for Standardization* – ISO no Brasil. A ABNT possui, no âmbito ambiental, a norma NBR ISO 14001, que tem como finalidade equilibrar a proteção ambiental e a prevenção de poluição com as necessidades sócio-econômicas das organizações. Toda empresa que possui um sistema de

gestão ambiental cumpridora da norma NBR ISO 14001 pode solicitar à ABNT o certificado de registro de sistema de gestão ambiental para si. Todo o processo de certificação está estruturado de acordo com os padrões de auditorias da norma ISO 10011 e 14011. (5)

Nas atividades de gerenciamento de resíduos, a NBR 10.004 - Resíduos Sólidos é uma ferramenta imprescindível, sendo aplicada por instituições e órgãos fiscalizadores. Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Foi publicada sua nova versão no dia 31 de maio de 2004. A partir da classificação estipulada pela Norma, o gerador de um resíduo pode facilmente identificar o potencial de risco do mesmo, bem como identificar as melhores alternativas para destinação final e/ou reciclagem. Esta nova versão classifica os resíduos em três classes distintas: classe I (perigosos), classe IIA (não-inertes) e classe IIB (inertes). (6)

Classe I - Resíduos perigosos: são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Classe IIA - Resíduos não-inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Classe IIB - Resíduos inertes: são aqueles 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 significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis. Estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (se degradam muito lentamente).

Comparando as legislações francesa do qual emerge o Grupo Renault, e brasileira, Groszek (7) diz que não há grandes diferenças. Tanto a legislação brasileira quanto a europeia têm os princípios da responsabilidade, que é do gerador de resíduos. Na França e no Brasil, o gerador tem a responsabilidade, por exemplo, de escolher um centro de tratamento que seja adequado, legal e ambientalmente correto, ficando essa escolha sob a sua responsabilidade, e também de escolher um transportador que seja credenciado. O operador, por sua vez, tem a responsabilidade de cumprir as obrigações legais, em geral, e aquelas decorrentes da licença que ele possui, em particular. (7)

A legislação francesa estabelece que a empresa deve, em primeiro lugar, evitar a geração de resíduo; que, se houver geração, deve-se primeiramente tentar o reaproveitamento do resíduo, recuperando a matéria-prima; no caso de tratamento fora da usina, deve-se antes buscar aquele que possibilite uma valorização térmica; e, em último lugar, deve-se utilizar o aterro. (7)

Um marco significativo para a política ambiental nacional foi a lei n.º 9.921, de 27 de julho de 1993. Ela trata da gestão dos resíduos sólidos no estado do Rio Grande do Sul. Seu regulamento foi aprovado pelo decreto n.º 38.356 de 01 de abril de 1998, inovando e abrindo caminho para a solução de um dos grandes problemas de poluição: o lixo doméstico e o lixo industrial. (8)

Já a nível Federal, O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovado no dia 10 de março deste ano (2010) na Câmara dos Deputados após 19 anos de tramitação, prevê a obrigação dos fornecedores estabelecerem logística reversa para produtos com algum grau de toxicidade, inclusive os eletroeletrônicos. Foi adiado para votação no senado numa próxima ocasião, por falta de quórum na reunião desta quarta feira dia 09 de junho. Na prática, o projeto estabelece a coleta

e a restituição dos descartes às empresas para reaproveitamento “ou outra destinação final ambientalmente adequada”. O Substitutivo ao Projeto de Lei nº 203/1991 (com apensos) se for aprovado no Senado segue para sanção presidencial. Depois disso, o Executivo ainda terá de regulamentá-lo. (9)

### 3.3 RESÍDUOS INDUSTRIAIS

A preocupação com o meio ambiente vem alterando profundamente o estilo de administrar. Às metas de produção e vendas, as empresas estão incorporando procedimentos para a redução da emissão de efluentes, reciclagem de materiais e até mesmo análises do Ciclo de Vida dos produtos e seus impactos sobre a natureza. Novos processos e tecnologias permitem uma produção mais limpa com menos resíduos, desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos e a utilização racional de recursos de fontes renováveis. (1)

Resíduos são o resultado de processos de diversas atividades da comunidade e podem ser de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e mesmo da varrição pública. Um resíduo não é, por princípio, algo nocivo. Muitos resíduos podem ser transformados em subprodutos ou em matérias-primas para outras linhas de produção. (6)

No Brasil, o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos industriais constitui um grande desafio. Atualmente um dos grandes problemas enfrentados pela engenharia ambiental é a destinação de tais materiais. A disposição dos resíduos é efetivamente praticada pelas indústrias de grande porte, devido às grandes quantidades de materiais gerados nos processos. A reutilização é também considerada, em muitos casos, para diversos fins. Em todos os casos, tanto para a reutilização, quanto para a disposição, há que se levar em consideração os elementos potencialmente contaminantes que podem ser introduzidos no meio circundante. (10) É neste momento que a reciclabilidade de um determinado produto ganha destaque, apesar de não devermos encarar a reciclagem como a grande solução para as questões ambientais. É preciso conhecer as limitações e trabalhar para, com o tempo, ultrapassá-las. (11)

O êxito de projetos de preservação ambiental está na sua sustentabilidade econômica. Os negócios que se concretizam nas diversas etapas envolvidas são a garantia para a perenidade e aperfeiçoamento de tais iniciativas (12). Uma política empresarial de gestão ambiental deve buscar benefícios internos e externos. Do ponto de vista interno, já é possível computar os ganhos econômicos diretos em diversas empresas que adotam sistemas de gestão ambiental, incluída a reciclagem. As vantagens se relacionam com economia de energia e matéria-prima, melhorias na saúde e comportamento do trabalhador. Externamente, os benefícios associam-se à imagem que cada empresa constrói perante um importante parceiro: o consumidor. Este, cada vez mais consciente e exigente com os aspectos sócio-ambientais, passa a optar por produtos que tenham, em seu processo produtivo e na etapa pós-consumo, esforços para torná-lo cada vez mais "eco amigável", a partir de uma avaliação positiva de seu ciclo de vida.

Existem diversos tipos de impactos ambientais e ecológicos que as organizações causam no meio ambiente. Andrade (13) classifica as empresas e seus respectivos impactos ambientais e ecológicos, da seguinte forma: as organizações que mais geram impactos ambientais são do ramo industrial, por sua característica de serem transformadoras de insumos produtivos em produtos finais. Como as empresas do ramo comercial realizam a intermediação dos bens produzidos pelas companhias industriais, os impactos ambientais e ecológicos são de moderada intensidade. Já as empresas prestadoras de serviço são as que provocam o menor impacto ambiental. O consumidor final tem o papel de agente que induz às mudanças internas nas organizações, provavelmente

devido a uma maior conscientização dos efeitos ambientais que essas organizações e seus produtos causam no meio ambiente. (5)

Uma forma de minimizar os impactos ambientais causados por tais organizações é o reaproveitamento dos resíduos gerados, pois isto pode proporcionar a diminuição da utilização dos recursos naturais, da necessidade de tratamento, do armazenamento e da disposição dos rejeitos gerados.

Os resíduos, que em algumas ocasiões são rejeitados e considerados custos da qualidade e custos ambientais, são classificados como passivos. Após a mudança de parâmetro, quando estes passam à utilização, podem ser contabilizados como ativo imobilizado, agregando valor para a organização e, conseqüentemente, para o resultado final da empresa. O meio ambiente também é favorecido quando as sucatas metálicas são recicladas, pois, na teoria, a indústria siderúrgica diminui a exploração de jazidas e minas para obter matéria-prima. A exploração primária é muito prejudicial ao meio ambiente, ela degrada a fauna, a flora, o solo e lençóis freáticos. Altera-se a paisagem e inutiliza-se o terreno.(5)

Um documento da Biblioteca Virtual do Estudante Brasileiro descreve a importância do reaproveitamento dos metais, e cita três motivos básicos: i) economia financeira - a reciclagem é mais barata que a extração do metal a partir do minério; ii) economia de tempo - a reciclagem do metal é mais simples que a extração a partir do minério; e, iii) conservação do ambiente - fazendo a reciclagem não há necessidade de tirar o minério da natureza.(14)

### *3.4 RESÍDUOS PERIGOSOS NO RIO GRANDE DO SUL*

O relatório sobre a geração de resíduos sólidos industriais no estado do Rio Grande do Sul, divulgado em maio de 2003, apresenta os dados sobre a geração e a destinação de resíduos perigosos (Classe I) e resíduos não inertes ou não perigosos (Classe II) das indústrias localizadas no Rio Grande do Sul. (15)

Tais dados foram obtidos através do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, etapa Rio Grande do Sul, e das Planilhas Trimestrais de Resíduos Sólidos Industriais Gerados obtidas nos processos de licenciamento na FEPAM.

Os dados foram coletados durante o ano de 2002. Demonstram a potencialidade da geração dos resíduos sólidos industriais no estado, bem como os resultados que as indústrias aí localizadas têm obtido através de seu gerenciamento. (15)

Foram trabalhados 19.109 registros, correspondentes a um total de 2.192 indústrias. Os cinco setores com maior número de indústrias foram: Metalúrgico com 506, Couro com 448, Mecânico com 448, Químico com 250 e Alimentar com 152.

Os três setores industriais que produziram maior quantidade de resíduos perigosos em toneladas por ano foram: Couro 118.254, Mecânico 20.800 e Metalúrgico 20.624.

A distribuição da destinação destes resíduos sólidos industriais perigosos, Classe I, gerados pelos setores mecânicos e metalúrgicos, é apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Distribuição da destinação dos resíduos sólidos industriais perigosos, Classe I.

<b>DESTINO</b>	<b>QUANTIDADE (t/ANO) DO SETOR MECÂNICO</b>	<b>QUANTIDADE (t/ANO) DO SETOR METALÚRGICO</b>
Central de resíduos	6.942	2.753
Aterro industrial próprio	224	380
Reaproveitamento/reciclagem	4.711	8.337
Enviado para outros estados	6.051	6.125
Outras formas de destino	2.871	3.030

### 3.5 USINAGEM

A usinagem pode ser entendida, como uma operação que confere à peça formas, acabamentos e dimensões apropriadas. Essas combinações de resultado de qualquer um desses três itens produzem o cavaco. O cavaco produzido pode ser definido como a porção de material de forma geométrica irregular, retirada pela ferramenta das peças a serem usinadas. (16).

#### 3.5.1 Processos mecânicos de usinagem

A ABNT instalou uma comissão para padronizar a nomenclatura e classificação dos processos de usinagem dos metais intitulada “Comissão de Máquinas Operatrizes”. (16) Seguindo tais definições, são apresentadas, a seguir, algumas operações interessantes para o presente estudo.

Furação em cheio: processo de furação destinado a abertura de um furo cilíndrico numa peça, removendo todo o material compreendido no volume do furo final, na forma de cavaco.

Furação escalonada: Processos de furação destinado a obtenção de furo com dois ou mais diâmetros, simultaneamente.

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

Alargamento: Processo mecânico de usinagem destinado ao desbaste ou ao acabamento de furos com auxílio de ferramenta.

Fresamento e brochamento: Processos destinado à obtenção de superfícies quaisquer com auxílio de ferramentas.

Roscamento: Processo destinado à obtenção de filetes, por meio de abertura de um ou vários sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfície cilíndricas ou cônicas de revolução.

Retificação cilíndrica: Processo de retificação tangencial no qual a superfície usinada é uma superfície cilíndrica.

Brunimento: Processo mecânico de usinagem por abrasão empregado em acabamento de furos cilíndricos de revolução, no qual todos os grãos ativos da ferramenta abrasiva estão em constante contato com a superfície da peça e descrevem trajetórias helicoidais. Para tanto a peça ou a ferramenta gira e se desloca axialmente com movimento alternativo.

Superacabamento: Processo mecânico de usinagem por abrasão empregado em acabamento de furos cilíndricos de revolução, no qual todos os grãos ativos da ferramenta abrasiva estão em constante contato com a superfície da peça e descrevem trajetórias helicoidais. Para tanto a peça

gira lentamente e a ferramenta se desloca com movimento alternativo de pequena amplitude e frequência relativamente grande.

Polimento: Processo mecânico de usinagem por abrasão no qual a ferramenta é constituída por um disco ou conglomerado de discos revestidos de substancia abrasiva.

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

Afiação: Processo mecânico de usinagem por abrasão, no qual é dado o acabamento das superfícies da cunha cortante da ferramenta, com o fim de habilitá-la a cumprir sua função

### 3.5.2 Cavacos

Para o Centro de Informações Metal-Mecânica – CIMM, cavaco é todo material que é removido das peças com o auxílio de uma ferramenta. Essa ferramenta entra em contato com as peças, provocando o aumento do atrito e do cisalhamento do instrumento, ocorrendo o desgaste do utensílio. (15)

#### 3.5.2.1 Formação do cavaco

Em condições normais de usinagem com ferramentas de aço rápido ou metal duro, a formação do cavaco segue as seguintes etapas:

1. Uma pequena porção de material é recalcada (sofre deformações elástica e plástica) contra a superfície de saída da ferramenta.
2. A deformação plástica aumenta até que as tensões internas de cisalhamento sejam suficientemente grandes, causando deslizamento entre a porção recalcada e a peça (sem ruptura do material).
3. Continuando a penetração da ferramenta, ocorre ruptura total ou parcial do cavaco, no plano de cisalhamento.
4. A porção de material rompida escorrega sobre a superfície de saída da ferramenta.

O ciclo se repete para as próximas porções de material a serem usinadas.

A periodicidade e tempo de duração de cada etapa dependem do tipo de material sendo usinado.

Materiais dúcteis: todas as fases são bem pronunciadas, há bastante deformação antes da ruptura.

Materiais frágeis: as duas primeiras fases descritas anteriormente são curtas, na terceira ocorre ruptura total do cavaco e a quarta praticamente inexistente. (16)

#### 3.5.2.2 Tipos de cavaco

- Cavaco contínuo: apresenta lamelas justapostas em disposição contínua. Não há distinção nítida entre as lamelas. Forma-se na usinagem de materiais dúcteis como o aço inoxidável.

- Cavaco de cisalhamento: apresenta lamelas justapostas distintas. Forma-se quando houver diminuição da resistência do material no plano de cisalhamento, devido ao aumento da

deformação, à heterogeneidade da estrutura metalográfica, ou a vibrações externas que conduzem às variações de espessura do cavaco.

- Cavaco de ruptura: constituído de fragmentos arrancados da peça usinada. Forma-se na usinagem de materiais frágeis ou de estrutura heterogênea, tais como o ferro fundido ou latão. (16)

### 3.5.2.3 Formas de cavaco

A forma do cavaco influencia os seguintes fatores:

- Segurança do operador;
- Possível dano à ferramenta ou à peça;
- Manuseio e armazenagem;
- Forças de corte;
- Temperatura e vida da ferramenta.

Materiais dúcteis tendem a produzir cavacos longos e contínuos que são os mais prejudiciais.

Materiais frágeis produzem cavacos em forma de pequenas partículas.

De acordo com as formas, pode-se classificar os cavacos em:

- Cavaco em fita
- Cavaco helicoidal
- Cavaco espiral
- Cavaco em lascas ou pedaços

O cavaco em fita é o que apresenta maiores inconvenientes, pode provocar acidentes, ocupa muito espaço e é difícil de ser transportado, deve ser evitado.

Cavaco em lascas é preferido quando houver pouco espaço disponível ou quando o cavaco é removido por fluído sob pressão.

Os cavacos helicoidais deixam com maior facilidade o espaço entre os dentes da ferramenta quando a remoção de material é elevada. É a forma mais conveniente. (16)

### 3.5.3 Fluidos de corte

A função do fluido de corte é introduzir uma melhoria no processo de usinagem, de caráter funcional ou econômico. O fluido de corte é um lubrificante a base de óleo mineral e derivado de petróleo, é dividido basicamente em dois tipos: óleo mineral puro e óleo solúvel. O óleo solúvel é o de maior consumo pelas indústrias automotivas, devido às seguintes vantagens:

- Por ele ser emulsionável em água rende mais tornando seu custo inferior ao óleo puro.
- O impacto ambiental em caso de vazamento, transporte ou armazenamento é menor, por estar diluído.
- Tem melhor troca calorífica e maior segurança operacional, devido ao seu solvente ser a água.

As características de um bom lubrificante são:

- Resistir a altas pressões e temperaturas
- Possuir boas propriedades antifricção e antisoldantes
- Possuir viscosidade adequada – baixa o suficiente para que o fluido chegue à zona a ser lubrificada e alta o bastante para permitir boa aderência

Como refrigerante ele atua:

- Sobre a ferramenta - evita desgaste excessivo, já que evita que ela atinja temperaturas muito altas e perca suas características de corte.
- Sobre a peça - evita deformações causadas pelo calor e mudanças estruturais.
- Sobre o cavaco - reduz a força necessária para que seja cortado.
- Favorecendo a predominância dos mecanismos de corte (chip formation), em vez da deformação plástica sem a remoção de material (plowing).

Como lubrificante, o óleo:

- Facilita o deslizamento dos cavacos sobre a ferramenta e diminui o atrito entre a peça e a ferramenta.
- Reduz o coeficiente de atrito na região de contato ferramenta-cavaco, melhorando o rendimento da máquina. Possibilita maior produtividade e aumenta vida útil do rebolo.

Como protetor contra oxidação, o óleo de corte:

- Protege a peça, a ferramenta e o cavaco da corrosão, contribuindo para o bom acabamento e aspecto final do trabalho.

Possui ainda ação de limpeza:

- Como consequência da aplicação do fluido de corte em forma de jato, cuja pressão afasta as aparas, a zona de corte fica limpa facilitando o controle visual da qualidade do trabalho.

### *3.5.4 Materiais em usinagem*

#### 3.5.4.1 Ferro fundido

O ferro fundido tem densidade média de 7,20 g/cm<sup>3</sup>.

Ferro fundido cinzento: pode conter até 3% de silício. O efeito do silício é a redução do carbeto de ferro duro e o aumento da quantidade de grafite que se apresenta em forma de lamina. A estrutura resultante é de boa usinabilidade relativamente às demais estruturas de ferro fundido.

Ferro fundido nodular: é obtido pela adição de pequena quantidade de magnésio ou de cério no ferro fundido de alto carbono no estado líquido. A estrutura resultante, após o resfriamento da solução, apresenta o carbeto de ferro e grafite em forma esferoidal, produto bastante resistente e que se comporta elasticamente como o aço fundido. Apesar de mais resistente e mais alta pressão específica de corte, em relação ao ferro fundido cinzento, o nodular é tão bem usável quanto aquele. (16)

### 3.5.4.2 Alumínio

O alumínio tem densidade média de 2,7 g/cm<sup>3</sup>.

Comparado com os metais ferrosos o alumínio e suas ligas são de mais fácil usinagem, apresentam pressão específica de corte mais baixas e mais altas velocidades de corte, avanço e grande produção de cavacos. Devido ao seu alto coeficiente de dilatação térmica, o alumínio em usinagem deveria ser mantido sempre frio se se pretende que suas dimensões sejam controladas corretamente. (16)

## 3.6 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Para avaliar e melhorar os impactos ambientais decorrentes dos processos de usinagem pode-se usar como auxílio a ferramenta de gestão ambiental chamada “Produção mais Limpa”. A partir desta é possível definir uma proposta de redução dos resíduos gerados neste processo, através de mudanças no produto e processo.

O conceito de Produção mais Limpa foi criado pela UNEP (United Nations Environmental Program) em 1988. Segundo a UNEP, a Produção mais Limpa é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada, aplicada a processos, produtos e serviços. Incorpora o uso mais eficiente dos recursos naturais e, conseqüentemente, minimiza a geração de resíduos e poluição, bem como os riscos à saúde humana. (18)

Tecnologias ambientais convencionais trabalham principalmente no tratamento de resíduos e emissões gerados em um processo produtivo. São as chamadas técnicas de fim-de-tubo. A Produção mais Limpa pretende integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade.

A Tabela 2 mostra alguns dos possíveis resultados que as empresas que implementam a P+L podem obter. (19)

Tabela 2: Possíveis resultados tangíveis e intangíveis da implementação da P+L. (19)

<b>RESULTADOS TANGÍVEIS</b>	<b>RESULTADOS INTANGÍVEIS</b>
Geração de inovações tecnológicas de processo, produto e gerencial	Desenvolvimento econômico mais sustentado
Benefícios advindos de vantagens comerciais (concessão de financiamentos, obtenção de seguros com taxas mais ativas, facilidade para tornar-se fornecedor de grandes empresas)	Melhoria da qualidade ambiental do produto
Melhoria da competitividade (através da redução de custos ou melhoria da eficiência)	Melhoria da imagem pública da empresa
Redução de custos com matérias-primas, insumos e energia	Aumento da eficiência ecológica
Ocorrência de melhorias econômicas de curto prazo	Melhoria das condições de trabalho dos empregados
Novas oportunidades de negócios	Aumento da motivação dos empregados
Minimização dos riscos no campo das obrigações ambientais	Diversidade de benefícios para as empresas bem como para toda a sociedade
Redução dos encargos ambientais causados pela atividade industrial	Indução do processo de inovação dentro das empresas
	Aumento da segurança dos consumidores dos produtos

A Figura 1 mostra as várias estratégias utilizadas visando a Produção mais Limpa e a minimização de resíduos. A prioridade da Produção mais Limpa está no topo (à esquerda) do fluxograma: evitar a geração de resíduos e emissões (nível 1). Os resíduos que não podem ser evitados devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2). Na sua impossibilidade, medidas de reciclagem fora da empresa podem ser utilizadas (nível 3). A prática do uso da Produção mais Limpa leva ao desenvolvimento e implantação de Tecnologias Limpas nos processos produtivos. (18)

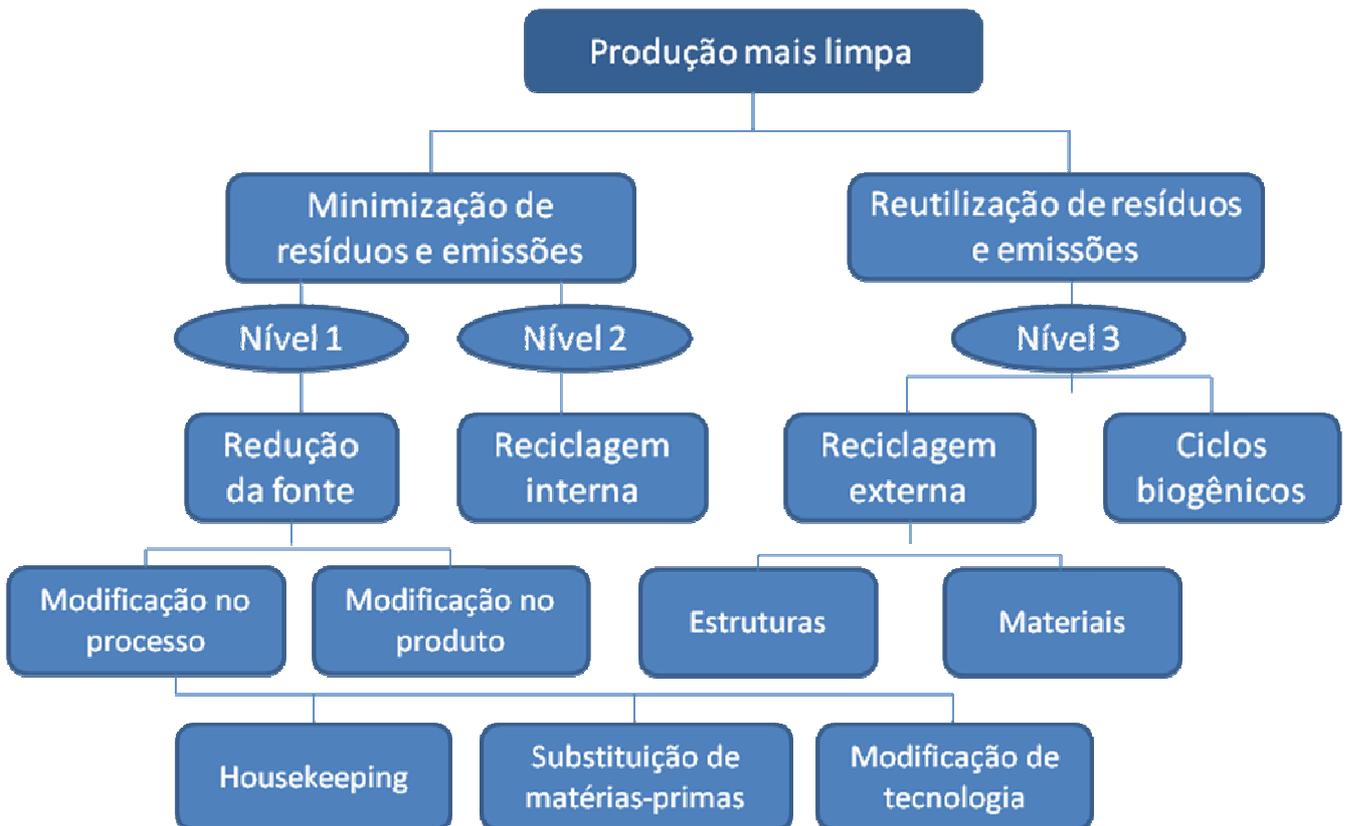


Figura 1: Escopo de atuação da metodologia Produção mais Limpa (P+L). (18)

### 3.7 USINAGEM MAIS LIMPA

Segundo Andrade (13), as empresas do ramo industrial, mais especificamente as organizações metalúrgicas, devem estabelecer estratégias ambientais visando: i) eliminação de questionamentos legais através de estrita observância à legislação vigente; ii) redução de gastos com insumos produtivos mediante racionalização por meio de seus métodos operacionais; iii) criação e aprimoramento de seus processos produtivos, com a eliminação/redução de perdas e geração de resíduos ao longo da cadeia de agregação de valores; iv) eliminação, criação e/ou aperfeiçoamento de produtos a serem ofertados ao mercado, dentro do contexto ambiental e ecológico; e, v) redução ou eliminação de riscos ambientais; destacam, ainda, a atitude de varias empresas que se uniram para formar associações de administração ambiental cujo papel é fazer com que o maior número possível de empresas pratique a administração ambiental. (13)

A consideração de questões ambientais na manufatura exige a realização de uma análise do processo total, no qual todos os insumos de entrada e saída sejam analisados e os efeitos exatos de energia e ambiente de cada parâmetro sejam avaliados de maneira quantitativa.

Sokovic&Mijanovic apud Alves et al (18) exemplificaram este procedimento para o processo de usinagem. Ferramenta, peça de trabalho, materiais processados e energia são as variáveis de entrada. Do outro lado, após o processamento, tem-se um produto que demonstra as características requeridas em termos de qualidade, eficiência econômica e reciclabilidade. Ainda, têm-se os materiais residuais e as emissões, os quais são partes indesejadas do processo. Estes são caracterizados com relação ao tipo, quantidade e estado físico. (18)

### *3.7.1 Impactos ambientais externos e internos causados pelos fluidos de corte*

Óleo de corte e usinagem são considerados resíduos classe I Perigosos.(15) A utilização de fluidos de corte no processo de usinagem faz da indústria metal-mecânica uma potencial agressora do meio ambiente. São vários os problemas decorrentes desta utilização, que vão desde a geração de efeitos nocivos ao ambiente de trabalho até a agressão do meio ambiente. Ao avaliar os impactos gerados pela utilização dos fluidos de corte, devemos considerar dois principais efeitos: efeitos nocivos à atmosfera (interna e externa) e degradação do solo e recursos hídricos. (18)

Os fluidos de corte podem ser dispostos depois de seu uso pela própria companhia ou por uma empresa especializada em disposição de resíduos. Dependendo da qualidade e modo de disposição do resíduo, o resultado será poluição do solo, águas e ar. Deve ser considerado que os fluidos de corte mudam sua composição durante a usinagem, ocasionando também uma mudança nos riscos oferecidos ao meio ambiente. Podem ser formadas ainda substâncias secundárias, produtos de reações originados durante o processo, corpos estranhos e microorganismos que são agregados ao fluido de corte.

Em contrapartida, devido à multiplicidade de efeitos negativos gerados pela utilização dos fluidos de corte, especial atenção está sendo voltada à seleção eficiente dos mesmos para garantir menores impactos ao meio ambiente. As restrições resultantes da legislação não conduzem apenas às limitações e dificuldades com processos de manufatura e a um acréscimo de custo indesejável a elas associado, mas também força a desenvolver tecnologias novas e alternativas. Isto representa um novo desafio tecnológico aos cientistas e engenheiros e aumenta a importância da manufatura ecológica como um fator competitivo.

Não são apenas os problemas de disposição que despertam interesse, mas as perdas de fluidos de corte podem também ser muito prejudiciais e custosas. Elas ocorrem no sistema de manufatura pela vaporização na usinagem, na saída de cavacos e peças da máquina, nos componentes da máquina, tais como dispositivos de fixação e manuseio, no vácuo, nos sistemas de pressurização do ar e na formação de gotas e vazamentos. O vazamento do fluido é um fator crítico que contribui para a perda e, em alguns casos, para as influências negativas nos sistemas hidráulicos da máquina. (18)

Na utilização de fluidos de corte, peças molhadas e sujas, assim como cavacos e partículas, saem do sistema da máquina e entram no sistema de limpeza e secagem. Segundo Byrne apud Alves et AL (18), cerca de 30% do consumo total anual de fluido de corte é perdido através da remoção do sistema pelos meios mencionados acima, o que torna evidente a necessidade de se encontrar métodos eficazes para combater tais perdas.

## **3.8 RENAULT DO BRASIL**

Em meados de 1995, o Grupo Renault decidiu investir na construção de uma fábrica no Brasil. Em março de 1996 foi lançada a Pedra Fundamental, símbolo do início das obras. O local escolhido

foi São José dos Pinhais, município da região metropolitana de Curitiba, no Paraná. Inicialmente foi construída a Fábrica de Veículos de Passeio, seguida da Fábrica de Motores (1999) e da Fábrica de Veículos Utilitários (2000). Os investimentos foram da ordem de US\$ 1,35 bilhão. Essas três fábricas estão instaladas no chamado Complexo Ayrton Senna, que ocupa uma área total de 2,5 milhões de metros quadrados, dos quais 60% são áreas de preservação ambiental. (20)

A Fábrica de Motores (CMO), inaugurada em dezembro de 1999 com um investimento de US\$ 150 milhões, tem uma capacidade de produção de 390.000 motores/ano. É uma das mais modernas do mundo, produz seis versões diferentes de motores flex e também a gasolina de diferentes cilindradas, além de virabrequins, blocos e cabeçotes. Em 2007 a fábrica produziu um total de 210.465 motores K4- flex/gasolina, D4-flex/gasolina e D7-gasolina.

Segundo Jérôme Stoll, Presidente da Renault do Brasil, alcançar o desenvolvimento sustentável implica harmonizar os interesses econômico-financeiros de uma empresa com políticas sociais e de preservação do meio ambiente. Na Renault do Brasil, a estratégia política de meio ambiente segue em perfeita sintonia com a praticada pelo Grupo Renault. O Complexo Ayrton Senna está certificado na Norma ISO 14001 desde o ano 2000.

Os 5 principais aspectos ambientais considerados:

1. Utilização de recursos (água, energia elétrica, gás natural)
2. Resíduos sólidos
3. Efluentes líquidos (3 parâmetros medidos: MES (Material em suspensão), MO (Matéria Orgânica) e METOX (Representa a quantidade de metal tóxico dissolvido na água em forma de sais)
4. Emissões atmosféricas
5. Demais aspectos (ruídos, solo e lençol freático).

Para cada atividade e processo das fábricas é aplicado um método analítico, o ECORISQUE, que define os riscos ambientais potenciais. Este procedimento viabiliza a realização do MAIA – Mapeamento de Aspectos e Impactos Ambientais.

A água utilizada no Complexo Ayrton Senna é fornecida pela SANEPAR. A captação é realizada no Rio Pequeno. Na Fábrica de Motores, existe um sistema de evaporadores, no qual a água é recuperada e reaproveitada. (20)

As principais fontes energéticas utilizadas pelo Complexo Ayrton Senna são Energia Elétrica e Gás Natural. A Energia Elétrica é fornecida pela COPEL. É utilizada para iluminação, funcionamento dos meios de produção, prensas, robôs e soldas. O Gás Natural é fornecido via gasoduto pela COPAGÁS, para alimentação das caldeiras e estufas.

Os resíduos gerados pelas atividades do Complexo Ayrton Senna são separados através da coleta seletiva, o que permite uma ótima valorização. São classificados em duas categorias: DIB e DID.

DIB (Resíduo Industrial Banal): São os resíduos de embalagem (papelão, plástico, madeira), os resíduos alimentares, os resíduos de escritório e também os metais. Estes resíduos são

separados através da coleta seletiva conforme sua composição, enviados para uma central de resíduos situada dentro da própria Renault e então encaminhados para valorização.

DID (Resíduo Industrial Perigoso): São incluídos dentro desta categoria os resíduos que necessitam de cuidados especiais. Recebem tratamentos diferenciados por serem classificados como perigosos. Estes resíduos possuem controle e regulamentações particulares. Em geral, têm em sua composição produtos tóxicos, inflamáveis ou produtos químicos.

Empresas parceiras colaboraram com a organização de uma Gestão Global dos Resíduos. A Gestão Global permite um trabalho mais eficiente de valorização dos resíduos e torna mais transparentes os serviços efetuados por estas empresas. (20)

A GRI é uma empresa especializada no Gerenciamento Global de Resíduos (TWM – Total Waste Management), cujo objetivo é oferecer à Renault soluções ambientais integradas através de uma única empresa, por meio de uma carteira com várias tecnologias e experiências. Visa:

- Melhor relação custo x benefício
- Melhor performance
- Utilização de Multi-tecnologias
- Qualidade nos serviços prestados (ISO9001/2000)
- Saúde e Segurança Ocupacional
- Garantia e proteção ao Meio Ambiente (ISO14001/2004).

### 3.9 TUPY

A Tupy trabalha com a fundição de ferro, tem as sucatas de ferro e aço como sua principal matéria-prima. Absorve grandes quantidades de sobras e descartes de produção de materiais e peças e por isso posiciona-se como parceira da indústria automotiva. Certificada pela ISO 14.001 desde 2001 tem o compromisso de melhorar continuamente seus processos e buscar sempre novas soluções para reduzir impactos ao meio ambiente, seja por emissões gasosas ou pelo descarte de resíduos. (21)

## 4. METODOLOGIA DO PROJETO

---

Esta pesquisa é de caráter qualitativo, e foi realizada através de uma investigação descritiva na forma de um estudo de caso na Renault do Brasil. A pesquisa descritiva observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos sem manipulá-los, na tentativa de descobrir com que frequência ocorrem os fenômenos, bem como sua natureza e características. Em síntese, a pesquisa descritiva trabalha sobre dados ou fatos colhidos da própria realidade.

A pesquisa descritiva pode assumir diversas formas. Dentre elas, o estudo de caso, que é definido como uma pesquisa sobre um determinado indivíduo, família, grupo ou comunidade que seja representativo do seu universo. Este estudo foi realizado através da utilização de dados primários e secundários. Os dados primários foram coletados junto à Renault do Brasil, para saber como é o processo atual de geração de resíduos na usinagem, de filtragem e tratamento destes, bem como, quais são os resíduos gerados em termos de volume e composição. Os dados secundários foram extraídos da *internet*, de documentos públicos, de pesquisa bibliográfica e com fornecedores. Junto aos fornecedores e representantes foram questionados quais são os equipamentos que fazem a separação dos resíduos em questão, seus custos, como funcionam, qual a eficiência e as possibilidades de uso. No total cinco empresas fornecedoras de equipamentos foram pesquisadas. Os dados primários foram obtidos através dos seguintes instrumentos de pesquisa: i) entrevistas não estruturadas com os trabalhadores; e, ii) observação *in loco*. A utilização de múltiplas fontes de evidência constitui o principal recurso de que se vale o estudo de caso para conferir significância a seus resultados. Os dados coletados correspondem ao período do primeiro semestre de 2010, exceto para análise de viabilidade financeira que faz uso de dados de 2009. Como auxílio, a ferramenta de gestão ambiental chamada “Produção mais Limpa”, foi utilizada.

A fim de obter uma indicação da quantidade de fluido que é enviado junto com os cavacos, foi realizado um ensaio de perda ao fogo em forno de mufla Equilam modelo EQ390 a temperatura de 300°C por 45min para eliminar a matéria orgânica. O percentual de fluido foi determinado por pesagem simples, antes e após o aquecimento, sempre com a amostra em temperatura ambiente. A amostra que foi utilizada para fazer o ensaio não é representativa, pois foi retirada de uma caçamba que já tinha sofrido processo de decantação, por isso pode-se dizer que é apenas um indicativo da quantidade de fluido, mas provavelmente a quantidade real seja superior.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL

Para fornecer subsídios na decisão da viabilidade de acrescentar mais uma etapa ao final do processo atual de separação do fluido de corte dos cavacos, foi necessário primeiramente o entendimento da situação atual. Isto incluiu conhecer e levantar dados sobre: o processo de usinagem, os resíduos oriundos da usinagem e o processo de filtragem e descarte destes resíduos.

#### 5.1.1 Processo de usinagem atual da fabrica de motores da Renault do Brasil

O processo pode ser resumido conforme apresentado na figura 2. Entra a peça inacabada que, durante o processo de usinagem, recebe o liquido de corte e gera os cavacos. Sai a peça acabada e o resíduo. A peça acabada passa ainda por um processo de desengraxe que ira gerar mais resíduos.

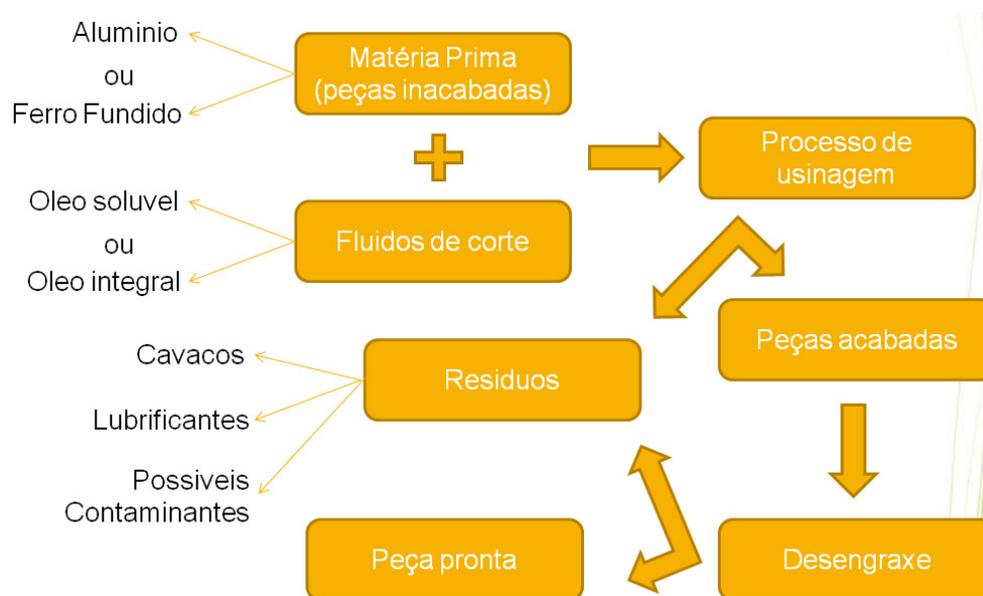


Figura 2: Esquema do processo de usinagem.

Atualmente são produzidas por usinagem três diferentes peças apresentadas na figura 3, o cabeçote o virabrequim e o bloco, que geram três diferentes linhas apresentadas a seguir. O material do cabeçote é a liga de alumínio AISi7Cu3Mg(Fe) com dureza superior a 71HB, do bloco é ferro fundido cinzento com dureza entre 187 e 235HB e do virabrequim é ferro fundido nodular com dureza entre 229 e 285HB.

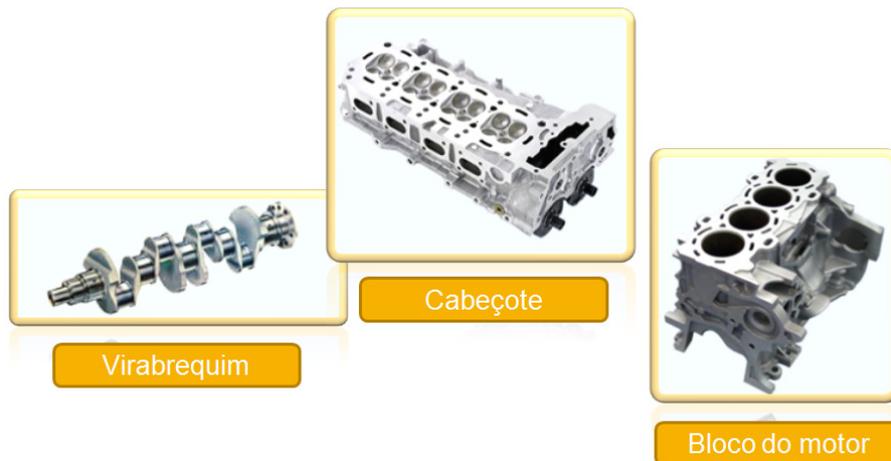


Figura 3: Peças produzidas.

Na linha do virabrequim são realizadas as seguintes operações de usinagem: Furação em cheio, furação escalonada, fresamento, brochamento, retificação cilíndrica, brunimento, superacabamento, polimento, lixamento e afiação.

Na linha do cabeçote são realizadas as seguintes operações de usinagem: Furação de centros, alargamento, fresamento, roscamento e, superacabamento.

Na linha do bloco são realizadas as seguintes operações de usinagem: Furação de centros, alargamento, fresamento, roscamento e brunimento.

Conforme mostrado na figura 2, estas operações geram resíduos constituídos por fluido de corte, cavacos e impurezas, que serão apresentados a seguir.

#### *5.1.2 Resíduos oriundos do processo atual de usinagem da fábrica de motores da Renault do Brasil*

##### 5.1.2.1 Cavacos

Os cavacos são gerados nos processos de usinagem e são intrínsecos a estes, não podem ser eliminados. Existem dois materiais que são trabalhados, o ferro fundido e o alumínio. Por consequência, dois cavacos de materiais diferentes são gerados e estes não devem ser misturados nas centrais de filtragem, como será apresentado a seguir, para garantir o bom valor de venda para reuso.

Os cavacos analisados neste trabalho, quanto ao tipo, podem ser classificados como Cavacos de Ruptura e quanto a forma podem ser classificados como Cavacos em Lascas ou Pedacos.

##### 5.1.2.2 Fluido de corte

Na fabrica de motores da Renault do Brasil atualmente são utilizados os óleos apresentados na figura 4. Esta figura também mostra a diferença dos dois óleos quando em contato com a água.

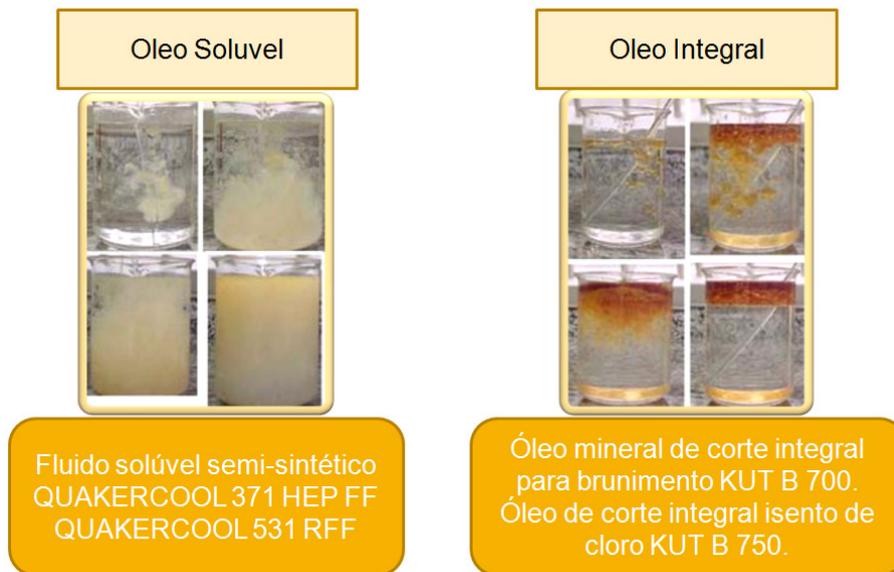


Figura 4: Tipos de óleos usados e seu comportamento em água.

#### 5.1.2.3 Impurezas contaminantes

Alguns fatores que provocam contaminação:

- Água usada para emulsão;
- Emulsões degradadas e outros óleos contidos em bandejas de contenção;
- Canaletas sujas com fungos e/ou resíduos de óleos;
- Sujeira acumulada em cantos inatingíveis e em extremidades de canos do sistema;
- Sujeira e resíduos das usinagens anteriores;
- Objetos jogados nas emulsões;
- Óleos hidráulicos, solventes, graxas;
- Produtos químicos não específicos;
- Limpeza inadequada dos sistemas;
- Resíduos de limpeza do chão jogados nos tanques dos óleos.

A fábrica de motores é, em grande parte, automatizada e além disso investe continuamente em treinamento e conscientização de seus funcionários; por isso, a quantidade de contaminantes externos é muito baixa.

Porém, algumas impurezas são inerentes ao sistema e, portanto sempre existem e precisam ser tratadas. Estas são as impurezas microbiológicas, ou seja, fungos, leveduras e bactérias. Imagens ilustrativas são apresentadas na figura 5.

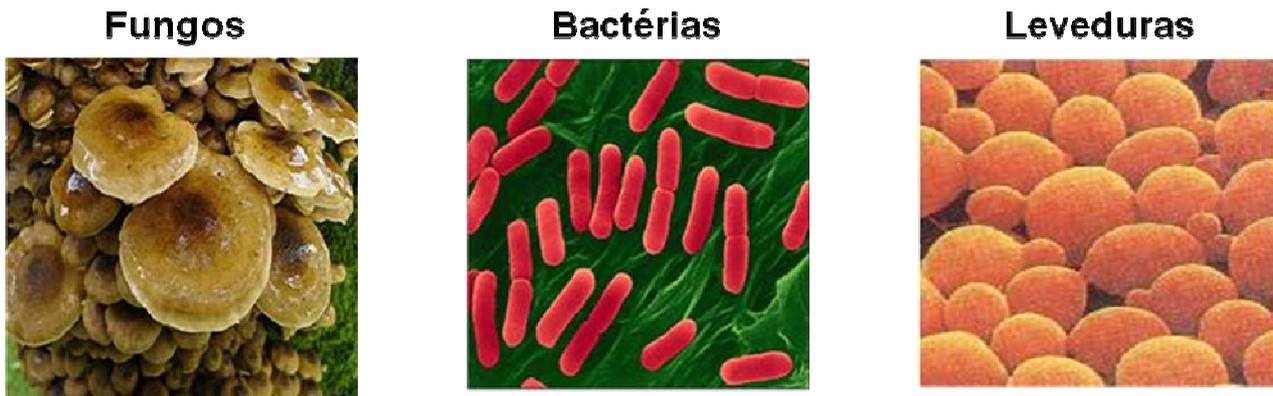


Figura 5: imagem ilustrativa de fungos, bactérias e leveduras.

Além destes, é freqüente também encontrarmos “tramp oil” como contaminante. São chamados de “tramp oil” os óleos estranhos, barramento e hidráulico, que caem nos tanques das máquinas durante o período de utilização das emulsões. Estes óleos podem ter comportamentos distintos quando em contato com a emulsão utilizada nas máquinas de usinagem.

### 5.1.3 Processo de filtração dos resíduos oriundos do processo atual de usinagem da fábrica de motores da Renault do Brasil

Os resíduos das três diferentes linhas de usinagem de peças são encaminhados para as centrais de filtração. Dois tipos de filtros são utilizados, a vácuo e por aluvião. Aluvião para óleos integrais e a vácuo para óleo solúveis.

#### 5.1.3.1 Central de Filtração a Vácuo

Filtração é a separação de partículas de um fluido líquido ou gasoso através da passagem deste por um meio poroso. As centrais de filtração a vácuo possuem equipamentos construídos para comportar grandes volumes de fluidos, e são dotadas de sistema de filtração onde este fluido é forçado a passar por um meio poroso (mídia permanente + torta de cavacos) através da sucção de bombas. A figura 6 apresenta uma central a vácuo.

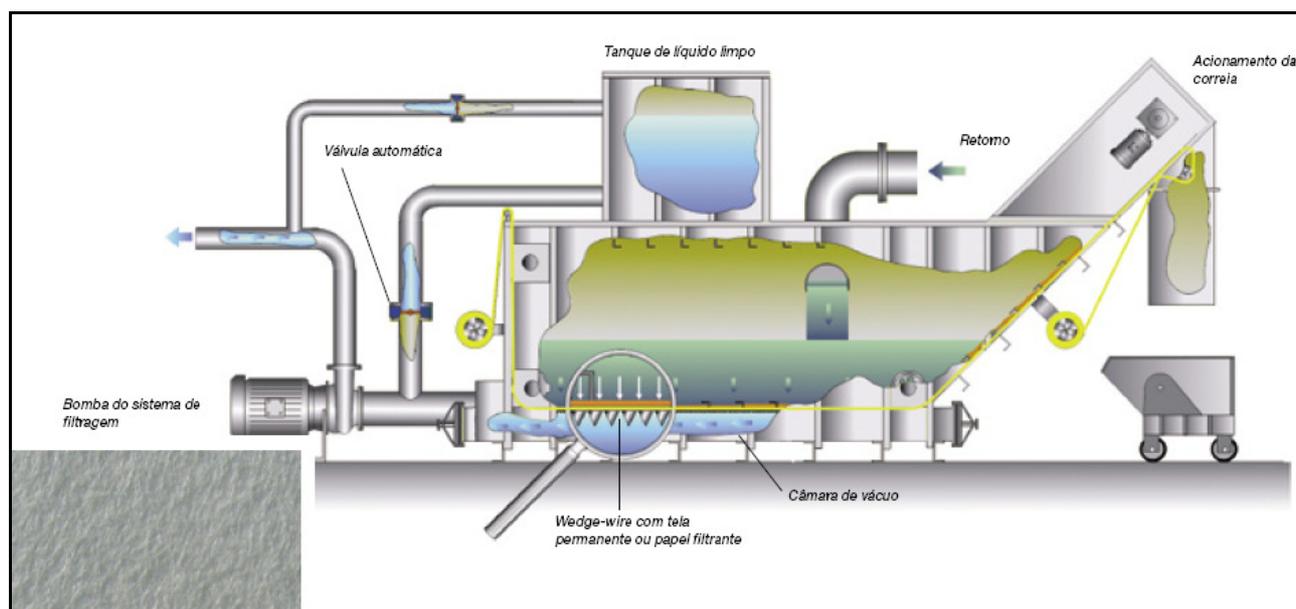


Figura 6: Central a vácuo.

A figura 7 apresenta um esquema básico de funcionamento das centrais a vácuo utilizadas na fábrica de motores da Renault do Brasil.

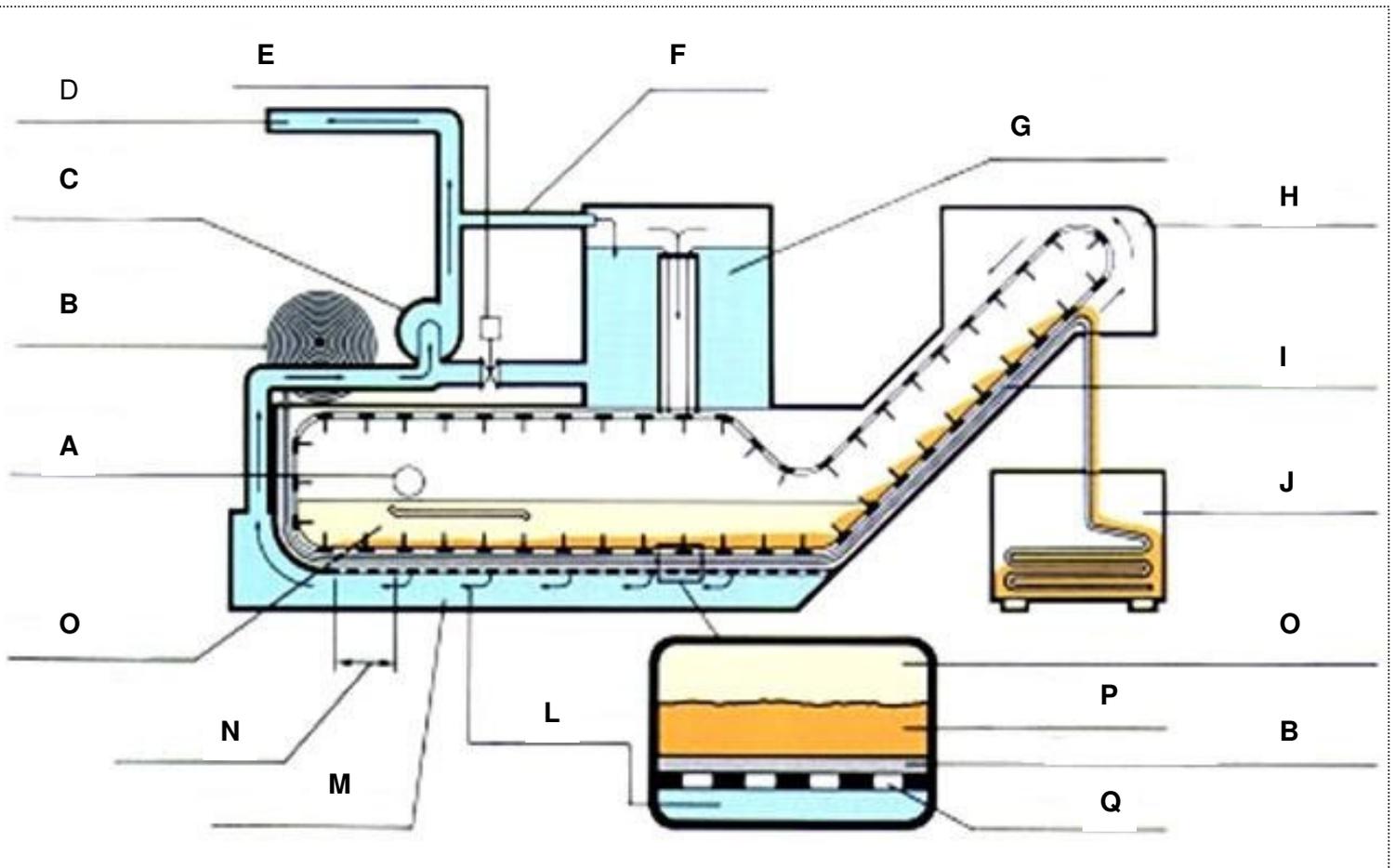


Figura 7: Esquema básico de Funcionamento de uma Central a Vácuo

**A - Tanque de Óleo Sujo:** Tanque que recebe e armazena todo o óleo do sistema. O óleo pode ser proveniente de um pré-separador ou bombeado diretamente das máquinas de usinagem. O Pré-separador é um tanque que opera com enchimento total de fluido a ser filtrado, proporcionando uma menor agitação e melhor decantação dos cavacos mais pesados.

**B - Elemento Filtrante (meio poroso):** Elemento responsável pela retenção das partículas (cavacos) durante o processo de filtração. Ele pode ser reciclável, conhecido como mídia permanente ou tela permanente, ou de passagem (descartável), que são as bobinas de papel.

**C - Bomba de Alimentação:** Equipamento responsável pela sucção do fluido, forçando-o a passar pelo elemento filtrante, e direcionando-o às máquinas de usinagem.

**D - Linha de Alimentação:** Tubulação responsável por conduzir e distribuir o fluido por todos os equipamentos de uma linha de produção.

**E - Válvula de Quebra de Vácuo:** Válvula automática, comandada por CLP, que abre a partir de um valor pré-determinado de pressão negativa na câmara de vácuo. Ocorre a quebra do vácuo porque a bomba de alimentação passa a receber óleo do tanque limpo e não mais a partir da sucção do tanque sujo.

*F – Tubulação de Enchimento do Tanque Limpo:* Tubo que conduz o fluido já filtrado até o tanque limpo. Normalmente a tubulação é dotada de válvula automática comandada por sensores de nível que mantém o tanque sempre cheio.

*G – Tanque Limpo:* Tanque para armazenagem de óleo filtrado, mantido sempre cheio, com volume suficiente para suprir as bombas de alimentação durante o processo de quebra de vácuo e regeneração do elemento filtrante.

*H – Transportador de Cavacos:* Sistema que transmite movimento a partir de um moto-reductor para as correntes transportadoras. Estas correntes se movimentam nas extremidades laterais do tanque sujo conduzindo os arrastadores e a torta de cavacos depositada sobre o elemento filtrante até a cabeça do filtro. Este sistema também é montado nos pré-separadores para a remoção do cavaco sedimentado. Nos pré-separadores, o movimento é temporizado e nos tanques de óleo sujo, o movimento normalmente é controlado pela pressão negativa na câmara de vácuo.

*I – Rampa de Drenagem:* Os sistemas centralizados são construídos com rampas para a drenagem de fluido. Grande parte do fluido arrastado pelos cavacos é drenado durante a subida, garantindo uma menor perda. A área da rampa, externa ao fluido, permite verificar a formação da torta de cavacos, que é fundamental para a qualidade da filtração.

*J – Caçamba de Cavacos:* Caçamba destinada a conter os cavacos gerados nos processos de usinagem e separados do fluido no pré-separador e filtro do sistema centralizado.

*L – Fluido Filtrado (limpo):* Fluido que já passou pelas etapas de pré-separação de cavacos e filtração e esta disponível para ser bombeado novamente às máquinas de usinagem.

*M – Câmara de Vácuo:* Reservatório que contém fluido filtrado e alimenta as bombas que abastecem as máquinas da linha de produção. A pressão passa a ser negativa em função da resistência ao fluxo imposta ao fluido pelo elemento filtrante e torta de cavacos.

*N – Regeneração do Elemento Filtrante:* O sistema regenera o elemento filtrante dando um passo, com cumprimento limitado por um temporizador, disponibilizando área de filtração sem depósito de cavacos.

*O – Fluido Sujo:* Fluido que retorna das máquinas, passando ou não pelo pré-separador, trazendo todos os contaminantes gerados no processo de produção.

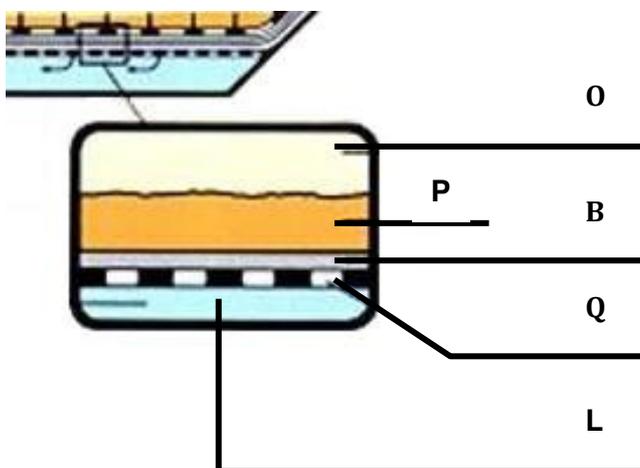


Figura 8: Detalhamento da Torta de Cavacos

*P – Torta de Cavacos:* Acúmulo de Cavacos sobre o elemento filtrante que atua como auxiliar no processo de filtração. A qualidade da filtração está diretamente ligada a homogeneidade na formação da torta.

*Q – Wedge Wire (tela de sustentação):* Tela construída em aço inoxidável para dar suporte ao elemento filtrante e a torta de cavacos.

Uma central de filtragem é um sistema cíclico, onde o fluido é tratado inúmeras vezes e disponibilizado à produção. O óleo, com os contaminantes gerados nos processos produtivos, chega à central através da tubulação de retorno e é armazenado no tanque sujo “A”. A bomba de alimentação “C” succiona o fluido forçando-o a passar através da torta de cavacos “P” e do elemento filtrante “B”, onde ocorre efetivamente a filtração do fluido com a retenção das partículas nele dispersas.

À medida que o fluido circula através do sistema, mais contaminantes são trazidos à central e a espessura e densidade da torta de cavacos “P” é aumentada. Quanto maior a espessura e densidade da torta de cavacos “P” maior é a dificuldade imposta ao fluido para transpor estes dois obstáculos.

A força de sucção implementada pela bomba de alimentação “C” é constante, criando uma pressão negativa na câmara de vácuo “M” que também aumenta a medida que a torta de cavacos “P” é aumentada. Este processo precisa ser controlado e limitado para evitar problemas mecânicos diversos e manter uma pressão mínima na linha de alimentação das máquinas conforme exigido por cada processo específico.

Este controle é dado por um equipamento chamado vacuostato, onde um valor máximo de pressão negativa (vácuo) é programado. Assim que este valor é atingido inicia-se o processo de regeneração do elemento filtrante.

O CLP da central comanda a abertura da válvula de quebra de vácuo “E” e a bomba de alimentação “C” passa a ser abastecida pelo tanque limpo “G”, quebrando a pressão negativa na câmara de vácuo “M”. Com a quebra do vácuo o elemento filtrante “B” se solta da tela de sustentação “Q” permitindo o passo do elemento filtrante para sua regeneração “N”, sem danos provocados pela resistência ao movimento provocado pelo vácuo.

Os cavacos acumulados na rampa de drenagem “I” são jogados na caçamba de cavacos “J” e o ciclo se completa.

No caso de uso de mídia permanente, durante o processo de regeneração, esta passa pela estação de lavagem para remoção de cavacos residuais de sua superfície. Após o término da regeneração do elemento filtrante “B”, o tanque limpo “G” é completado novamente para aguardar o próximo ciclo.

#### 5.1.3.2 Central de Filtragem a Filtro Aluvião

A Central de Filtragem a Filtro Aluvião Pressão( Filtro Primário ) é constituída por equipamentos preparados para comportar grandes volumes de fluidos, dotado de sistema de filtração onde este fluido é forçado a passar por um meio poroso (Elementos Filtrante + Pré-capa de diatomita ou outro auxiliar Filtrante) através da sucção de bombas.



Figura 9: Foto de uma Central de Filtragem Aluvião.

*Tanque de Óleo Sujo:* Tanque que recebe e armazena todo o óleo do sistema. O óleo pode ser proveniente de um tanque ou bombeado diretamente das máquinas de usinagem.

*Elemento Filtrante:* Elemento responsável pela retenção das partículas (cavacos) durante o processo de filtração. Ele pode ser reciclável, mas devido a pequena quantidade utilizada na Renault, esta ainda não realiza a reciclagem deste elemento.

*Bomba de Alimentação:* Equipamento responsável pela sucção do fluido, forçando-o a passar pelo elemento filtrante, e direcionando-o às máquinas de usinagem.

*Linha de Alimentação:* Tubulação responsável por conduzir e distribuir o fluido por todos os equipamentos de uma linha de produção.

*Filtro à Pressão (Filtro Secundário):* Após a descarga da pré-capa o fluido contaminado com a diatomita é prensado no filtro à Pressão até que toda a diatomita seja retirada do óleo que irá para o Tanque Sujo.

*Tanque Limpo:* Tanque para armazenagem de óleo filtrado, mantido sempre cheio, com volume suficiente para suprir as bombas de alimentação durante o processo de pré-capa regeneração do elemento filtrante.

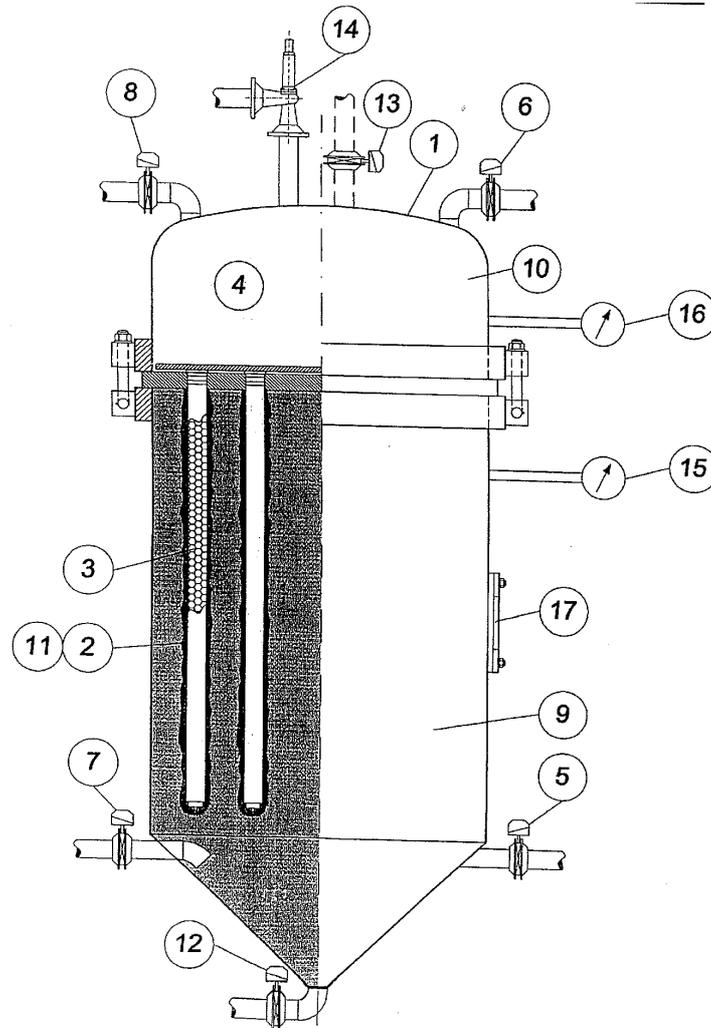
*Separador magnético:* Sistema imantado que remove os cavacos de ferro fundidos através de um eixo para as correntes transportadoras.

*Caçamba de Cavacos:* Caçamba destinada a conter os cavacos gerados nos processos de usinagem e separados do fluido no pré-separador e filtro do sistema centralizado.

*Fluido Filtrado (limpo):* Fluido que já passou pelas etapas de pré-separação de cavacos e filtração e esta disponível para ser bombeado novamente às máquinas de usinagem.

*Regeneração do Elemento Filtrante:* Sistemas centralizados que utilizam processo de filtração a Aluvião precisam ter as pressões negativas na câmara de vácuo controladas e limitadas. O controle é feito por um pressostato. A partir deste valor máximo pré-determinado, o sistema regenera o elemento filtrante dando uma descarga, com cumprimento limitado por um temporizador, disponibilizando área de filtração sem depósito de cavacos.

*Fluido Sujo:* Fluido que retorna das máquinas, passando ou não pelo pré-separador, trazendo todos os contaminantes gerados no processo de produção.



1 Filtro de aluvião	5 Válvula entrada mistura	9 Câmara primaria	13 Válvula de ar comprimido
2 Pó de filtragem	6 Válvula saída mistura	10 Câmara secundaria	14 Válvula de segurança
3 Tubos do filtro	7 Válvula de entrada limpa	11 Bolo filtrante	15 e 16 Manômetro
4 Líquido	8 Válvula limpa	12 Válvula de saída	17 Visor

Figura 10: Esquema Filtro Aluvião.



Figura 11: Foto Filtro Aluvião Parte Interior.



Figura 12: Foto do elemento filtrante do Filtro Aluvião.

### 5.1.3.3 Características das centrais

A tabela 3 apresenta as principais características das centrais de filtragem atualmente existentes na fábrica de motores da Renault do Brasil.

Tabela 3: Principais características das centrais de filtragem.

Central de filtragem	Tipo de filtro	Volume da central	Peça	Material	Fluido	Operações de geração de cavaco de
197	a vácuo	293m <sup>3</sup>	bloco	Ferro fundido	óleo solúvel QUAKERCOOL 371 HEP FF	Furação de centro, alargamento e fresamento
198	aluvião	34m <sup>3</sup>	virabrequim e bloco	Ferro fundido	óleo integral Quaker KUT B700	Lixamento no virabrequim e brunimento no bloco
199	a vácuo	116m <sup>3</sup>	virabrequim	Ferro fundido	óleo solúvel QUAKERCOOL 531 RFF	Furação em cheio, Furação escalonada e fresamento
200	a vácuo	100m <sup>3</sup>	virabrequim	Ferro fundido	óleo solúvel QUAKERCOOL 531 RFF	Retificação cilíndrica
201	a vácuo	198m <sup>3</sup>	cabeçote	liga de alumínio	óleo solúvel QUAKERCOOL 371 HEP FF	Furação de centro, fresamento, roscamento e alargamento
203	aluvião	24m <sup>3</sup>	virabrequim	Ferro fundido	óleo integral KUT B 750	Furação escalonada e galetagem
204	a vácuo	34m <sup>3</sup>	cabeçote	liga de alumínio	óleo solúvel QUAKERCOOL 371 HEP FF	Fresamento e superacabamento
205	a vácuo	3m <sup>3</sup>	bloco	ferro fundido	óleo solúvel QUAKERCOOL 371 HEP FF	Furação de centro

#### 5.1.3.4 Problemas e tratamentos do óleo solúvel

Para que a usinagem ocorra de maneira ideal é preciso que o fluido de corte esteja dentro de determinados parâmetros. A tabela 4 apresenta quais os parâmetros que devem ser averiguados, com que frequência, com qual equipamento e com auxílio de qual norma.

Tabela 4: Parâmetros do óleo solúvel.

PARÂMETROS DO BANHO	Equipamento usado	Referência	Frequência de controle
Concentração do produto: 8 a 10%	Quebra ácida	M-LPD-010*	1/dia
pH mínimo: 9,0	Peagâmetro	MP 220*	1/dia
Corrosão: sem	Teste bosch	DIN 51360	1/semana
Condutividade do banho: 5 a 8 mS	Condutivímetro	MC 226*	1/semana
Bactérias: <10 <sup>3</sup> UFC/ml	Kit Biocount BF	QTSA-220*	1/semana
Leveduras: <10 <sup>3</sup> UFC/ml	Kit Biocount BF	QTSA-220*	1/semana
Fungos: <10 <sup>3</sup> UFC/ml	Kit Biocount BF	QTSA-220*	1/semana
“Tramp oil”: < ou = 0,5 %	Proveta graduada	QTSA-359*	1/semana
Gravimetria < ou = 200 mg/l		QTSA-160*	1/semana

\*normas de procedimentos internos da Renault

Concentração: Diariamente é preciso acrescentar água para ajustar a concentração do óleo solúvel. A água adicionada através de sua dureza e pH irá influenciar a eficiência da filtragem, a vida da emulsão, a vida da ferramenta e o acabamento superficial. A figura 13 exemplifica o teste realizado sendo que as flechas mostram o óleo solúvel primeiro emulsionado na água e, após quebra ácida, concentrado na parte superior.

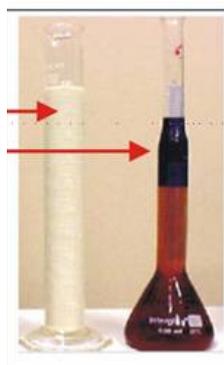


Figura 13: Proveta com emulsão e Balão de Cássia contendo amostra da emulsão após a quebra-ácida.

pH: Para controlar o pH é usado o Additive M. Trata-se de um fluido alcalino, sendo o seu princípio ativo formado por álcalis que provocam um aumento do pH das emulsões aquosas e conseqüentemente aumento da capacidade anticorrosiva. Fazendo uso do Additive M e mantendo o pH acima de 9 (máx 9,3 alumínio) há inibição natural da proliferação de microrganismos pelo meio alcalino, com redução no consumo de biocidas para choques químicos.

Corrosão: o óleo contém em sua formulação antioxidante, basta que esteja no pH adequado para que este parâmetro esteja dentro das especificações. O teste Bosch consiste em preparar num bécher uma amostra de emulsão por meio de agitação mecânica e umectar com esta mistura recém preparada os cavacos padrão que estão sobre um papel filtro redondo. Após devem ser expostos por duas horas numa placa Petri a temperatura ambiente. Em seguida faz-se a inspeção do papel filtro quanto a sinais de corrosão. É necessário ausência total de corrosão para dar dentro das especificações.

Condutividade: para acertar a condutividade do banho basta ajustar o pH.

Bactérias, fungos e leveduras: As contaminações microbianas em ambientes e formulações aquosas industriais é uma das principais responsáveis por falhas de produtividade. Corrosão, formação de lodo, odor, queda de pH, quebra de emulsão, formação de biofilme, entupimento das linhas, riscos a saúde dos operadores podem ser decorrentes de contaminações por bactérias, fungos e leveduras. Para testar é usado o kit BioCountBF e feita a leitura comparativa com a figura 14.

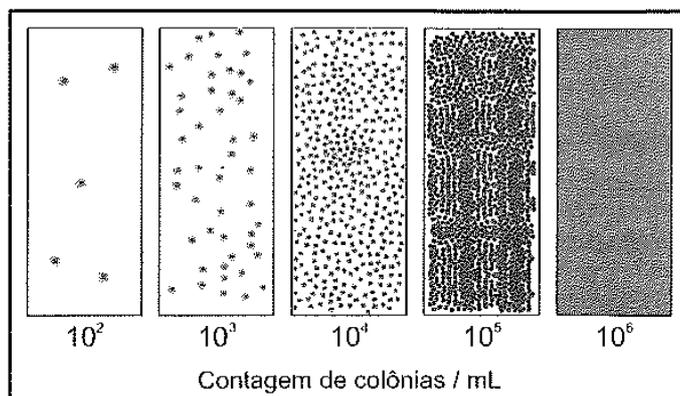


Figura 14: Ilustração para contagem de colônias.

Diariamente é adicionada água ao sistema e com ela bactérias, fungos e leveduras. Portanto é necessário tratar preventivamente a emulsão. São adicionados 0,05% do Biocida 387 sobre o volume de água repostos. Também é adicionado em grande quantidade para a realização de um choque químico quando percebido curva de tendência elevada nos testes de laboratório. O Biocida 387 trata-se de um aditivo microbiocida, utilizado como anticéptico, eliminando a proliferação de bactérias e a formação de odores desagradáveis, ajudando a elevar o pH e prolongando a vida útil da emulsão em uso. Para fungos e leveduras são adicionados o 3390 e o 385 respectivamente.

“Tramp oil”: A presença do “tramp oil” nas emulsões pode acarretar os seguintes problemas:

- Emulsão reversa (camada cremosa sobre a emulsão)
- Máquinas sujas
- Maior formação de névoa
- Corrosão
- Queda pH
- Aumento irreal da concentração (leitura do tramp oil junto com a emulsão)

Os “tramp oils”, podem ter dois tipos de comportamento.

a. Flutuam na superfície (demulsificam) – Este comportamento é o desejado, pois possibilita a retirada do “tramp oil”, sem maiores problemas para a emulsão.

b. Mistura na emulsão (emulga) - Este comportamento não é o desejado, pois dificulta a separação.

Bombas de alta pressão filtros finos e tanques pequenos intensificam o processo de mistura do “tramp oil” com a emulsão, há a necessidade de um tempo para que as gotas de “tramp oil” subam a superfície. Estas condições podem levar a formação de uma terceira fase conforme figura 15.

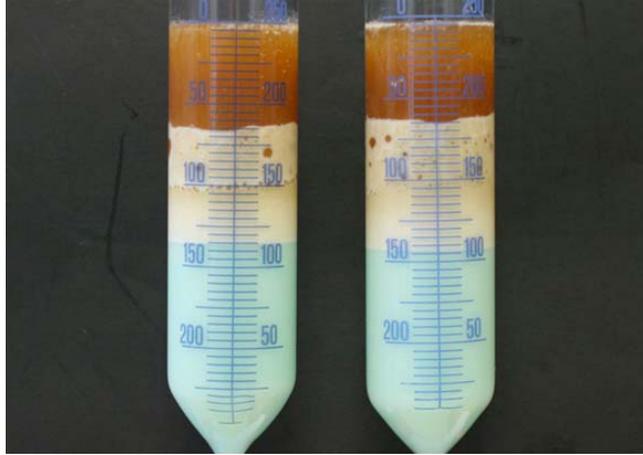


Figura 15: “Tramp oil” e óleo solúvel

Para fazer a remoção do “tramp oil” os Skimmers são equipamentos baratos e de grande utilidade quando o “tramp oil” separa de forma apropriada, indo para a superfície como na figura 16. São usados tipo fita e tipo mangueira. Quando está misturado na emulsão, primeiro é utilizada a centrifuga e depois o skimmer.



Figura 16: Skimmer utilizado para coleta do “Tramp Oil”

Particulados: Por gravimetria são mensurados e por centrifuga são retirados.

#### 5.1.3.5 Problemas e tratamentos do óleo integral

O fluido de corte precisa estar dentro de determinados parâmetros para que a usinagem ocorra de maneira ideal. A tabela 5 apresenta quais os parâmetros que devem ser averiguados, com que frequência, com qual equipamento e com auxílio de qual norma.

Tabela 5: Parâmetros do óleo integral.

PARÂMETROS DO BANHO	Equipamento usado	Referência	Frequência de controle
Viscosidade: Kut B700- 4,3 a 5,3 cst	viscosímetro	NBR10441	1/mês
Teor de água máximo : 0,1%	Karl Fischer	NBR 11348	1/mês
Índice de acidez: máx. 1 mg KOH/g	Controlado apenas no óleo novo	ASTMD974	1/mês
Índice de saponificação : 10 a 18 mg KOH/g	Controlado apenas no óleo novo	ASTM D94	1/mês
Ponto de fulgor : 120°C mínimo	Controlado apenas no óleo novo	ASTM D92	1/mês

Viscosidade: quando tem “tramp oil” a viscosidade se eleva, porém no caso do óleo integral como são de mesma natureza não é possível separar. Por isso para corrigir é descartado em torno de 10% e adicionado 10% de óleo com viscosidade menor que o usual.

Teor de água: não é comum ter água no óleo integral, porém quando isso acontece basta aumentar a temperatura para evaporar a água.

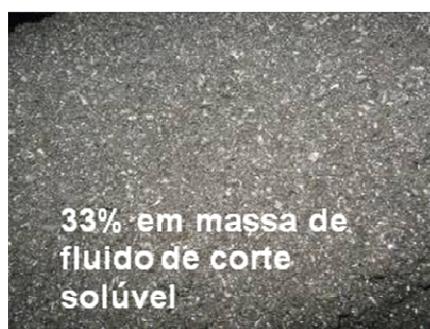
#### 5.1.4 Processo de descarte dos resíduos oriundos do processo de usinagem atual da fábrica de motores da Renault do Brasil

Atualmente, devidamente tratados, a maior parte dos fluidos de corte retornam para produção. Os cavacos provenientes das centrais de filtragem são recolhidos em caçambas. Cada central tem uma ou duas caçambas menores. Os cavacos de ferro fundido são enviados destas caçambas menores para uma grande caçamba. Esta tem fundo falso permitindo que seja recolhido, com auxílio de uma bomba, mais uma parte do óleo que decantou. Após este procedimento as caçambas de cavacos de ferro são vendidas para a empresa Tupy. As caçambas de cavacos de alumínio também são vendidas para a Tupy, porém a grande caçamba não tem fundo falso.

Para obter um parâmetro de quanto de fluido de corte é perdido no envio dos cavacos à Tupy, foi feito o ensaio de perda ao fogo. Este resultou que junto aos cavacos de alumínio tem no mínimo 33% em massa de óleo solúvel e junto aos cavacos de ferro fundido tem no mínimo 13% em massa de óleo solúvel. Para o cavaco de ferro fundido com óleo integral a quantidade de massa de fluido de corte perdida é de aproximadamente 15%.



**Cavaco de Ferro Fundido**



**Cavaco Alumínio**

Figura 17: Foto dos cavacos impregnados de óleo solúvel.

A figura 17 apresenta como são os resíduos, cavacos de alumínio e de ferro fundido impregnados de óleo solúvel, dentro das caçambas. A figura 18, os cavacos com óleo integral.



**Cavaco de Ferro Fundido**

Figura 18: Foto dos cavacos impregnados de óleo integral.

## *5.2 APLICAÇÃO DO P+L PARA O PROCESSO DE USINAGEM*

Após avaliar as causas da geração de cada resíduo identificado passa-se a refletir sobre possíveis oportunidades de mudança, ou seja, opções P+L para minimizar a geração dos resíduos.

Primeiro analisa-se a possibilidade de redução na fonte, avaliando a viabilidade de modificação no processo e no produto. Modificações no produto não são necessárias, pois o projeto da peça e seu processo de produção é continuamente otimizado pela equipe de engenharia de motores da Renault, seguindo a idéia de que quanto maior a qualidade menor o custo.

Esgotadas as alternativas de reduzir os resíduos na fonte, analisa-se as possibilidades de reciclagem interna. Para a usinagem, o mais indicado é a recuperação e reciclagem do fluido de corte utilizado, para o mesmo retornar ao processo. O sistema atual é muito eficiente no tratamento, é capaz de remover os contaminantes (óleo, sujeira, organismos microbiológicos) e reajustar com a frequência necessária a concentração do fluido antes do seu retorno à máquina individual. Isso já é aplicado; porém, o processo atual de separação não é eficiente o suficiente para retirar todo o fluido. Parte dele ainda é descartado junto aos cavacos. Encontramos aqui uma justificativa para buscar um novo processo a ser acrescentado ao atual para aumentar a eficiência de recuperação dos óleos que são descartados junto aos cavacos.

Por último, é verificada a possibilidade de agregar valores aos resíduos gerados, neste caso os cavacos já são comercializados; no entanto, ganham em valor quando limpos com este aumento de eficiência de separação do fluido dos cavacos. Os óleos contaminantes ("tramp oil") retirados são comercializados para uma empresa que faz o re-refino do mesmo e vende como óleo de máquina de segunda linha.

## *5.3 OPÇÕES DE PROCESSOS DE SEPARAÇÃO*

São necessários três equipamento para separar as três combinações de resíduos:

- 1) Cavaco de ferro fundido e óleo solúvel
- 2) Cavaco de ferro fundido e óleo integral
- 3) Cavaco de alumínio e óleo solúvel

Na busca de processos de separação três critérios foram considerados necessários:

- Possibilidade de reincorporar os fluidos de corte ao processo
- Aplicabilidade do mesmo processo aos três tipos de resíduos que são produzidos
- Valorização do cavaco deixando ele limpo e sem aumentar a corrosão

Diferentes processos de separação sólidos líquido foram avaliados: Secagem, lavagem, centrifugação e filtro prensa. Para atender aos três requisitos concomitantemente, somente o processo de centrifugação se mostrou eficaz. Isto porque a secagem não permite a reincorporação dos fluidos ao processo, a lavagem só é apropriada para o resíduo que tem cavaco de alumínio com óleo solúvel, ou seja, só contempla um dos três tipos de resíduos e o filtro prensa não é eficiente com o formato de cavacos que são produzidos na fábrica de motores da Renault do Brasil.

Centrífugas são utilizadas em indústrias mecânicas e metalúrgicas com a finalidade de separar e recuperar óleo de corte dos cavacos que após a usinagem é arrastado pelos cavacos e tende a se perder com o mesmo. Com a utilização deste equipamento, em média de 92% a 99% do óleo que normalmente seria perdido juntamente com o cavaco, pode voltar ao processo, fazendo com que a economia do antigo desperdício do fluido venha a amortizar o investimento com o equipamento em tempo bastante reduzido. Essa variação de eficiência advém da diferença de viscosidade do óleo integral para o óleo solúvel e da diferença de peso específico do ferro fundido para o alumínio. Para o resíduo de ferro fundido com óleo solúvel deverá ser encontrado o melhor resultado em termos de eficiência podendo alcançar 98% de eficiência. O ideal para este sistema é que os cavacos sejam curtos, portanto, o resíduo em questão atende a condição de maior eficiência.

Buscando informações juntos aos representantes das centrífugas, foi verificado que elas permitem que sejam alimentadas em operação contínua e que os diversos modelos atendem a diferentes quantidades de cavacos. Montando todo o sistema internamente na fábrica, porém próximo às paredes externas, a centrífuga permitirá o descarregamento diretamente em container no pátio externo. A centrífuga em geral é constituída por uma sólida estrutura metálica, com um tambor interno em formato de tronco cone invertido, montado sobre o eixo balanceado e movimentado por motor elétrico. O formato do tambor garante a saída do cavaco por um canal seguido por tubulação, enquanto o líquido recuperado, óleo ou emulsão, passa por uma faixa de grelha e é canalizado para a central de filtragem onde será tratado permitindo seu reaproveitamento imediato.

Ao questionar os fornecedores sobre quais empresas tem equipamentos de centrifugação instalados obtivemos: duas centrífugas instaladas na VW, duas centrífugas instaladas na Peugeot, uma centrífuga instalada na Fiat - FPT (antiga Tritec) e uma centrífuga instalada na Bosch. Surpreendentemente foi verificado que a própria Renault em unidades francesas e espanholas já tem este tipo de equipamento instalado e a figura 19 mostra uma delas.



Figura 19: Equipamento de centrifugação da Renault França.

#### 5.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Fornecer subsídios de viabilidade econômica é crucial para o bom andamento do projeto na indústria. Atualmente são três as maiores perdas econômicas relacionadas com estes resíduos:

- 1) Baixo valor agregado na venda dos cavacos uma vez que estes estão “sujos” pelos óleos.
- 2) Constante necessidade de reposição dos óleos no processo devido ao grande volume que é perdido junto aos cavacos.
- 3) Maior custo com o transporte destes resíduos que carregam de 10 a 35% de peso a mais do que o necessário, em óleo e água (água no caso do óleo solúvel).

É preciso calcular para cada um dos três tipos de resíduos o quanto é perdido financeiramente e levando em conta o quanto custa a aquisição e a instalação do equipamento será possível fazer a análise econômica. Os orçamentos realizados indicaram que o custo de cada centrífuga é de aproximadamente R\$ 110.000,00.

#### *5.4.1 Ferro fundido e óleo solúvel*

Quantidade gerada em 2009: 2.002 toneladas

Quantidade de emulsão no resíduo (13%): 260,26 toneladas

Quantidade de óleo perdido na emulsão (concentração do óleo de 9 a 13% dependendo da central): 28,62 toneladas

Quantidade de água perdida na emulsão: 231m<sup>3</sup>

Considerando que o óleo solúvel custa R\$ 17,00/kg são perdidos anualmente: aproximadamente R\$ 490.000,00

Considerando que a água custa R\$ 3,31/m<sup>3</sup> são perdidos anualmente: aproximadamente R\$ 800,00

Perdas por reposição desnecessária: aproximadamente R\$ 490.000,00

O preço de venda do cavaco de ferro fundido com impureza (óleo solúvel e água) é de R\$ 200,00/tonelada e não deve sofrer uma valorização significativa quando vendidos limpos.

Somente as perdas desnecessárias já são suficientes para justificar financeiramente o investimento na centrífuga para o resíduo constituído por ferro fundido e óleo solúvel.

#### *5.4.2 Alumínio e óleo solúvel*

Quantidade gerada em 2009: 160 toneladas

Quantidade de emulsão no resíduo (33%): 52,8 toneladas

Quantidade de óleo perdido na emulsão (concentração do óleo de 9 a 13% dependendo da central): 5,8 toneladas

Quantidade de água perdida na emulsão: 47m<sup>3</sup>

Considerando que o óleo solúvel custa R\$ 17,00/kg são perdidos anualmente: aproximadamente R\$ 98.500,00

Considerando que a água custa R\$ 3,31/m<sup>3</sup> são perdidos anualmente: aproximadamente R\$ 155,00

Perdas por reposição desnecessária: aproximadamente R\$ 98.500,00

O preço de venda do cavaco de alumínio com impureza (óleo solúvel e água) é de R\$ 1.100,00/tonelada e deve sofrer uma valorização significativa quando vendidos limpos. Passa a ser de R\$ 2.100,00/tonelada.

Ganho na valorização de venda do cavaco: aproximadamente R\$ 160.000,00

Contabilizando as perdas atuais mais os ganhos com a valorização do cavaco de alumínio chega-se em R\$ 258.500,00 que é suficiente para justificar financeiramente o investimento na centrífuga para o resíduo constituído por alumínio e óleo solúvel.

#### *5.4.3 Ferro fundido e óleo integral*

Quantidade gerada em 2009: 120 toneladas

Quantidade de óleo perdido no resíduo (15%): 18 toneladas

Considerando que o óleo integral custa R\$ 12,50/kg são perdidos anualmente: aproximadamente R\$ 225.000,00

Perdas por reposição desnecessária: aproximadamente R\$ 225.000,00

O preço de venda do cavaco de ferro fundido com impureza (óleo integral) é de R\$ 200,00/tonelada e não deve sofrer uma valorização significativa quando vendidos limpos.

Somente as perdas desnecessárias já são suficientes para justificar financeiramente o investimento na centrífuga para o resíduo constituído por ferro fundido e óleo integral.

## 6. CONCLUSÃO

---

- É indispensável a preocupação da indústria com o meio ambiente, não só para o cumprimento dos requisitos legais, mas também como estratégia de sustentabilidade.
- Aplicando a ferramenta (P+L) aos processos de usinagem (do bloco, virabrequim e cabeçote) da fábrica de motores da Renault do Brasil, conclui-se que os mesmos já operam com parâmetros otimizados. Isso restringe reduções na fonte, sendo indicado focar esforços na reciclagem interna dos resíduos de usinagem.
- Os atuais sistemas de filtragem a vácuo e aluvião dos fluidos de corte são eficientes na remoção e tratamento dos contaminantes. Porém, são descartados 13% em massa de óleo solúvel junto aos cavacos de ferro fundido, 33% em massa de óleo solúvel junto aos cavacos de alumínio e 15% em massa de óleo integral junto aos cavacos de ferro fundido.
- O equipamento mais indicado para realizar o processo de separação dos três diferentes tipos de resíduos gerados atualmente na fábrica de motores da Renault do Brasil é a centrífuga.
- A economia financeira gerada pelo acréscimo de uma etapa de separação dos cavacos dos fluidos de corte nos resíduos da fábrica de motores da Renault do Brasil torna o investimento rentável em menos de um ano.
- A rentabilidade no primeiro ano é estimada em R\$ 380.000,00 para o resíduo de ferro fundido com óleo solúvel e R\$115.000,00 para o com óleo integral. Este valor não considera os gastos extras que existem atualmente com transporte e não leva em conta uma possível, mas pouco provável, valorização do cavaco de ferro fundido.
- O aumento de eficiência de separação do fluido de corte dos cavacos de alumínio agrega valor ao resíduo gerado, uma vez que quando limpos são melhor valorizados.
- A rentabilidade no primeiro ano contabilizando a valorização de venda do cavaco de alumínio limpo é de R\$ 148.500,00. Este valor não considera os gastos extras que existem atualmente com transporte que devem ser altos já que o volume de cavaco de alumínio é muito grande e a quantidade de emulsão que vai com ele é muito alta.

## 7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

---

- Estudar os resíduos oriundos do desengraxe procurando uma forma de separá-los para reaproveitá-los.
- Estudar uma forma de reaproveitar os papéis filtro das centrais de filtragem.
- Coletar dados para análise de eficiência da planta de centrifugação da França

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. Georgen L. R., Doki, C., Casa F., Neis A.M., FERRARESI G., “Análise do Ciclo de Vida – Ferramenta para Avaliação de Performance Ambiental de Produtos, Processos e materiais Referentes à Indústria Automobilística”, Anais do Congresso SEA 2001, São Paulo, Brasil
2. Campos, V. F. *TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)*. 6. ed. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, 1992
3. Davis, M. M.; Aquilano, N. J.; Chase, R. B. *Fundamentos da administração da produção*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001
4. Slack, N.; Chambers, S.; Harland, C.; Harrison, A.; Johnston, R. *Administração da produção*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1997
5. Lima S. R., Ceretta P. S., Lima M. R. Inovação na Gestão de Resíduos Recicláveis em Indústria Metalúrgica. 5º Congresso USP Controladoria e Contabilidade 2005
6. Kraemer M. E. P. A questão ambiental e os resíduos industriais XXV ENEGEP Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005 Porto Alegre, RS
7. Groszek, F. A deficiência na fiscalização. *Revista Saneamento Ambiental* – nº 54, p. 16-24, nov./dez. 1998.
8. Secretária do Meio Ambiente. Disponível em [http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/lei\\_9921.htm](http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/lei_9921.htm). Acessado em 14/06/2010
9. Notícias Uol. Disponível em [http://idgnow.uol.com.br/computacao\\_pessoal/2010/03/11/camara-aprova-politica-de-residuos-solidos-incluindo-eletronicos/](http://idgnow.uol.com.br/computacao_pessoal/2010/03/11/camara-aprova-politica-de-residuos-solidos-incluindo-eletronicos/) Acessado em 14/06/2010.
10. Pereira, W. C. Alternativas de utilização de resíduos sólidos alcalinos na disposição de resíduos contaminados: estudo de caso no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Eng. Sanit. Ambient.* 2008, vol.13, n.2, pp. 163-170.
11. Vilhena A. Reciclagem: compromissos e benefícios. Diretor Executivo Compromisso Empresarial para Reciclagem CEMPRE
12. Compromisso Empresarial para Reciclagem. Disponível em [http://www.cempre.org.br/pequenas\\_empresas.php](http://www.cempre.org.br/pequenas_empresas.php). Acessado em 19/05/2010
13. Andrade, R. O. B.; Tachizawa, T.; Carvalho, A. B. *Gestão Ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável*. 2. ed. São Paulo: Pearson Education –Makrns Books, 2002.
14. Biblioteca Virtual. Disponível em <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/index.html>. Acessado em 19/05/2010.
15. Centro de Informações Metal Mecânica. Disponível em <http://www.cimm.com.br/portal/>. Acessado em 19/05/2010
16. Estado do Rio Grande do Sul. FEPAM. RELATÓRIO SOBRE A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, maio de 2003

17. Ferraresi, D. Usinagem dos metais. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.
18. Alves, S. M., Oliveira, J. F. G. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. 2007, vol.17, n.1, pp. 129-138.
19. Lemos, A. D. C. A Produção mais Limpa como geradora de inovação e competitividade: o caso da fazenda cerro do tigre. Dissertação (mestrado). Departamento de Administração, UFRGS. Porto Alegre, 1998.
20. Renault do Brasil S/A. Disponível em <<http://www.renault.com.br/Master.aspx?idSecao=149&Column=2>>. Acessado em 19/05/2010.
21. Fundições Tupy. Disponível em <<http://www.tupy.com.br/portugues/meioamb/gestao.php>> Acessado em 19/05/2010.