

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Departamento de Metalurgia

IMPLANTAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO
NA EMPRESA SOPRANO – UNIDADE EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS

Jeferson Leandro Klug

Trabalho de Diplomação

Orientador: Professor Dr. Ivo André Schneider

Porto Alegre
2005

“A produtividade é aumentada pela melhoria da qualidade.
Este fato é bem conhecido por uma seleta minoria”.

W. E. DEMING

AGRADECIMENTOS

Ivo André H. Schneider, Professor do Departamento de Metalurgia da UFRGS;
Carlos Caccia, Coordenador da Unidade Equipamentos Hidráulicos da Soprano;
Plinio Casagrande, Engenheiro Mecânico da Soprano;
Graziela Koppe, Administradora da Soprano;
Mariadriane Heineck, Química da Soprano;
Mário G. L. Filho, funcionário da AGCO do Brasil;
Heinz Fischbach, representante da ZEISS do Brasil;
Afonso Reguly, Professor do Departamento de Metalurgia da UFRGS;
Luís F. P. Dick, Professor do Departamento de Metalurgia da UFRGS;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	X
1.0 INTRODUÇÃO.....	1
2.0 DESCRIÇÃO DA SOPRANO.....	3
3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Introdução aos sistemas hidráulicos.....	4
3.2 Cilindros Hidráulicos.....	9
3.2.1 Velocidade de cilindros hidráulicos.....	10
3.2.2 Potência de cilindros hidráulicos.....	11
3.3 O problema da contaminação em sistemas hidráulicos.....	11
3.3.1 Padrões de limpeza do óleo hidráulico.....	12
3.3.2 A contaminação do óleo hidráulico.....	13
3.3.3 Métodos de análise de fluido.....	14
3.3.4 Filtros.....	15
3.4 Propriedades do fluido hidráulico.....	15
3.4.1 Viscosidade.....	16
3.4.2 Capacidade de lubrificação.....	16
3.4.3 Resistência à oxidação.....	16
3.4.4 Capacidade de proteger contra corrosão.....	16
3.4.5 Demulsibilidade.....	17
3.5 Encanamento.....	17
3.6 Vazamento.....	17
3.6.1 Vazamento interno.....	17
3.6.2 Vazamento externo.....	17
3.6.3 Vedação.....	17
3.7 Símbolos gráficos da Hidráulica.....	17

4.0	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1	“Benchmarking”.....	20
4.1.1	“Benchmarking” no Laboratório da Galvânica - Soprano.....	20
4.1.2	“Benchmarking” em fabricante de máquinas agrícolas.....	20
4.1.3	“Benchmarking” em centros de pesquisa para definição do microscópio.....	20
4.2	Normas - ensaios do Laboratório de Controle de Contaminação.....	21
4.2.1	Avaliação do solvente para a análise gravimétrica.....	22
4.3	Área física disponibilizada.....	23
5.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1	Dados do “Benchmarking”.....	25
5.1.1	“Benchmarking” no Laboratório da Galvânica – Soprano.....	25
5.1.2	“Benchmarking” em fabricante de máquinas agrícolas.....	25
5.1.3	“Benchmarking” em centros de pesquisa para definição do microscópio.....	26
5.2	Implantação do Laboratório de Controle de Contaminação.....	26
5.2.1	Especificação e compra dos equipamentos.....	27
5.2.2	Normas de segurança.....	28
5.3	Boletim técnico.....	29
5.4	Instrução de Trabalho.....	29
5.5	Relatório-padrão.....	29
5.6	Avaliação da eficiência de solventes na análise gravimétrica.....	29
5.7	Fontes de erro.....	32
5.8	Sugestões para a melhoria da qualidade do produto.....	32
5.8.1	Eliminar fontes de contaminação.....	32
5.8.2	Manter um bom nível de limpeza do óleo do banco de testes.....	32
5.8.3	Realizar controle de contaminação dos cilindros hidráulicos.....	32
6.0	CONCLUSÕES.....	33
7.0	TRABALHOS FUTUROS.....	34
8.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

ANEXO A – BOLETIM TÉCNICO 77.....	36
ANEXO B – INSTRUÇÃO DE TRABALHO.....	39
ANEXO C – RELATÓRIO-PADRÃO.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Princípio de funcionamento de alavanca hidráulica.....	5
Figura 3.2	Desenho ilustrativo de sistema hidráulico.....	6
Figura 3.3	Desenho ilustrativo de bomba de engrenagens.....	6
Figura 3.4	Válvula de ajuste de pressão.....	7
Figura 3.5	Manômetro de Bourdon.....	8
Figura 3.6	Cilindro Hidráulico.....	9
Figura 3.7	Desenho de cilindro hidráulico.....	10
Figura 3.8	Desenho ilustrativo.....	18
Figura 3.9	Alguns símbolos gráficos utilizados em Hidráulica.....	19
Figura 3.10	Sistema hidráulico simples.....	19
Figura 4.1	Medição de partículas resultantes de filtração.....	22
Figura 4.2	Área física disponibilizada pela Soprano.....	24
Figura 5.1	Vista geral do Laboratório de Controle de Contaminação.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Quadro para obtenção do número de partículas por ml de amostra, segundo codificação da norma ISO 4406.....	13
Tabela 5.1	Características dos equipamentos adquiridos para o Laboratório de Controle de Contaminação.....	28
Tabela 5.2	Resultados da avaliação da eficácia dos solventes para análise gravimétrica.....	30

RESUMO

A construção de um laboratório de controle de contaminação na empresa Soprano – Unidade Equipamentos Hidráulicos (Caxias do Sul), levando em consideração os equipamentos necessários e as técnicas aplicáveis, é descrita neste trabalho.

Inicialmente tem-se uma introdução aos sistemas hidráulicos, descrevendo seus componentes básicos.

O problema da contaminação em cilindros hidráulicos é discutido. Sabe-se que contaminantes sólidos em sistemas hidráulicos são responsáveis por mais de 75% das falhas em campo que podem ocorrer.

Índices de controle para o nível de contaminação permissível em cilindros hidráulicos devem ser definidos. O controle deve ser estabelecido através de técnicas analíticas, como análise gravimétrica, determinação de tamanho de partícula via microscopia óptica, e contagem de partículas do óleo hidráulico dos bancos de testes.

ABSTRACT

This work has described the construction of a contamination control lab in the Soprano company (Unidade Equipamentos Hidráulicos, Caxias do Sul). The equipments and the essays has been regarded.

At first, there is a description related to the basic components of the hydraulic systems.

The contamination of the hydraulic cylinders has been discussed. It has known the solid particles in hydraulic systems are responsible for more than 75% of the possible failures.

Indexes for the permissible contamination level in hydraulic cylinders must be defined. The control can be established through analytical techniques such as gravimetric analysis, particle sizing by optical microscopy, and particle counting in the oil of the test banks .

1.0 INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Diplomação foi realizado na empresa Soprano – Unidade de Equipamentos Hidráulicos (UH). Trata-se de uma fábrica de cilindros hidráulicos, que são os atuadores (geradores de força) em guindastes, máquinas agrícolas, elevadores, etc.

Busca-se melhorar a qualidade dos cilindros hidráulicos produzidos na Soprano, no que se refere ao controle de contaminação. Atualmente, os projetos das máquinas onde os cilindros fazem parte exigem um nível de limpeza cada vez maior, por estarem, por exemplo, vinculados a controladores eletrônicos de última geração onde as passagens de óleo são pequenos furos, e também pela exigência de maior tempo de uso sem manutenção. Estabelecendo-se tal controle, seria possível adequar o produto para novas aplicações onde se exige garantia de funcionamento e vida mais longa para os cilindros hidráulicos. Também, poderia-se vender ao cliente cilindros hidráulicos com períodos de garantia mais longos, o que seria um diferencial entre a concorrência.

Necessita-se de um determinado nível de limpeza para sistemas hidráulicos. Sabe-se que contaminantes sólidos são responsáveis pela maior parte das falhas que podem ocorrer; partículas a partir de cinco micrometros já podem se tornar um problema. Estes contaminantes podem ser partículas metálicas oriundas de respingos de solda, cavacos de usinagem, poeira, etc.

Desta forma, a Soprano está investindo na construção de um Laboratório de Controle de Contaminação, onde se planeja pôr em prática técnicas analíticas. Este trabalho descreve a implantação destas técnicas, considerando o trabalho envolvendo “benchmarking”, pesquisa de normas, implantação da área física do laboratório, aquisição de equipamentos e implementação dos ensaios. Deseja-se obter controle sobre a quantidade de contaminantes dos componentes dos cilindros hidráulicos (através de análise gravimétrica), sobre o tamanho máximo de partícula permissível (microscopia ótica) e número de partículas sólidas em suspensão no óleo hidráulico das bancadas de testes (contagem de partículas em laboratório terceirizado). Uma ênfase do trabalho foi, nos ensaios gravimétricos de sujidades, a busca de um solvente adequado em relação a segurança no trabalho, questões ambientais e custo.

Desta forma, os objetivos deste Trabalho são os seguintes:

- implementação de um laboratório que possibilite o controle de contaminação nos cilindros hidráulicos e seus componentes produzidos na Soprano – UH ;
- estabelecer na empresa uma metodologia para o ensaio gravimétrico para quantificação de sujidades e medição dos tamanhos das partículas encontradas como impurezas nos cilindros hidráulicos;
- fazer uma avaliação entre diversos solventes existentes no mercado levando em conta eficiência no ensaio, custo e risco para o laboratorista;
- avaliar as fontes de erro dos ensaios;
- elaborar um boletim técnico e uma instrução de trabalho, descrevendo o procedimento para os ensaios, bem como um relatório técnico padrão para registro dos resultados de cada ensaio.

2.0 DESCRIÇÃO DA SOPRANO

A Soprano é uma empresa com sedes em Farroupilha-RS, Caxias do Sul-RS, Campo Grande-MT e Escada-PE (Website Soprano, 2005). Em 1954, começou fabricando instrumentos musicais; tornou-se conhecida por fabricar ferragens para janelas, portas e portões, e acessórios para a indústria moveleira.

A Soprano conta com sete Unidades Estratégicas de Negócios que atuam nos seguintes mercados: equipamentos hidráulicos; acessórios para móveis; fechaduras, ferragens e cadeados; materiais elétricos; utilidades domésticas; filmes, resinas e metais e ferragens especiais. A empresa possui divisões que dão suporte a estas Unidades de Negócios. Uma delas é a "Divisão de Manufatura", dividida em Manufatura Metálicos, Manufatura Plásticos, Manufatura Hidráulica e Manufatura Nordeste, responsável pela fabricação de componentes para a linha de produtos. Há também a "Divisão de Serviços", composta pela diretoria da empresa, pelos departamentos de controladoria, auditoria, finanças, contábil, marketing, recursos humanos, informática, importação, exportação, entre outros. Existem ainda três Centros de Distribuição responsáveis pela logística de distribuição dos produtos, localizados em Pernambuco, Mato Grosso e Rio Grande do Sul. Atualmente a Soprano conta com mais de 1.400 colaboradores diretos e exporta seus produtos para as mais diversas regiões da Europa, África e Américas.

Na UH fabricam-se cilindros hidráulicos para diversas aplicações. A produção se destina a fabricantes de máquinas agrícolas, guindastes, caminhões, elevadores, e outros.

3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução aos sistemas hidráulicos

A Hidráulica pode ser definida como um meio de transmitir energia, pressionando um líquido confinado (Manual de Hidráulica Industrial, 1980).

Em se tratando de sistemas hidráulicos industriais, o líquido transmissor de energia é óleo hidráulico. Trata-se de um derivado de petróleo com uma série de aditivos, para proteger o sistema contra corrosão, tornar o óleo anti-inflamável, etc.

Sabe-se que, para líquidos incompressíveis (como água e óleo hidráulico), força é resultado da multiplicação entre pressão e área. Sabe-se também que a força se propaga em todos os sentidos, em um líquido confinado em um recipiente. Desta forma se explica o funcionamento de um macaco hidráulico (Figura 3.1), onde para um êmbolo de pequeno diâmetro (D_1), e para uma pequena força (F_1), obtém-se uma certa pressão (P). Se esta mesma pressão (P) for utilizada em um êmbolo de diâmetro maior (D_2), obtém-se uma força também maior (F_2). Assim, obtém-se a multiplicação de forças; com um pequeno esforço, é possível erguer grandes cargas. A relação matemática é

(equação 1)
$$F_2/F_1 = D_2^2/D_1^2$$

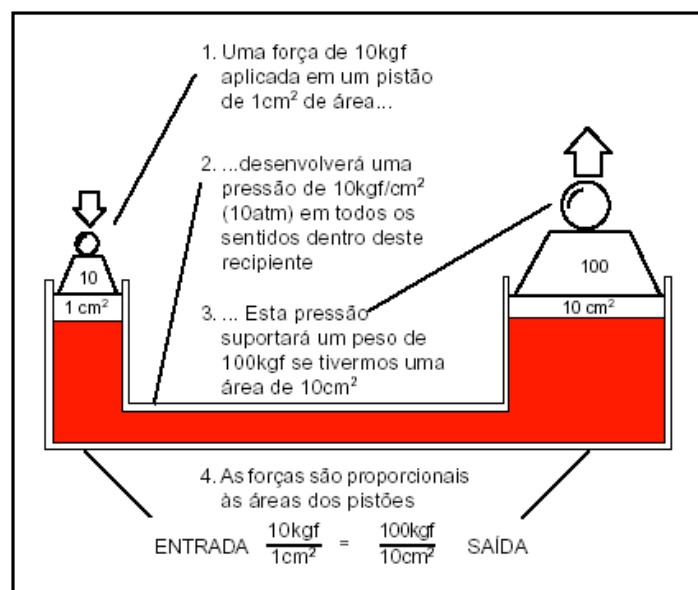


Figura 3.1 Princípio de funcionamento de alavanca hidráulica (Manual de Hidráulica Industrial, 1980).

Convém observar que a multiplicação de forças resulta em uma menor distância percorrida pelo êmbolo relacionado à F_2 . Isto está de acordo com a Lei da Conservação da Energia.

Na Figura 3.2, encontra-se esquematizado um circuito hidráulico simples. O óleo normalmente é transportado por mangueiras. Visualiza-se um cilindro hidráulico, que é responsável pela geração de força. Basicamente, trata-se de um êmbolo em uma camisa, com conexões para entrada e saída de óleo hidráulico. A pressão do óleo movimenta o êmbolo. Torna-se assim possível movimentar uma carga.

Ainda em relação à figura 3.2, encontra-se esquematizada uma bomba hidráulica. Ela tem como função empurrar o óleo hidráulico para dentro do cilindro. As bombas normalmente incorporam pistões, palhetas ou engrenagens, como elementos de bombeamento (Manual de Hidráulica Industrial, 1980). Ao contrário do que normalmente se imagina, a bomba não gera pressão; a pressão do óleo é resultado da resistência ao deslocamento do fluido. A bomba succiona, por diferença de pressão, óleo de um reservatório. Esta diferença de pressão é resultado de um “vácuo momentâneo”, gerado continuamente por um motor conectado à bomba. Na bomba de engrenagens, por exemplo, o vácuo é criado quando os dentes se desengrenam, e é forçado para a abertura de saída quando os dentes se engrenam novamente (Figura 3.3). Assim, o óleo é empurrado através de mangueiras para dentro do cilindro, que se movimenta, gerando força mecânica para, por exemplo, mover uma carga ligada à sua haste. O óleo retorna ao reservatório, para ser utilizado novamente.

Além de cilindros hidráulicos, existem outros dispositivos que convertem energia hidráulica em energia mecânica; todos são classificados como atuadores. Outro tipo de atuador é o motor hidráulico, que pode ser ligado a polias, engrenagens, cremalheiras, etc.

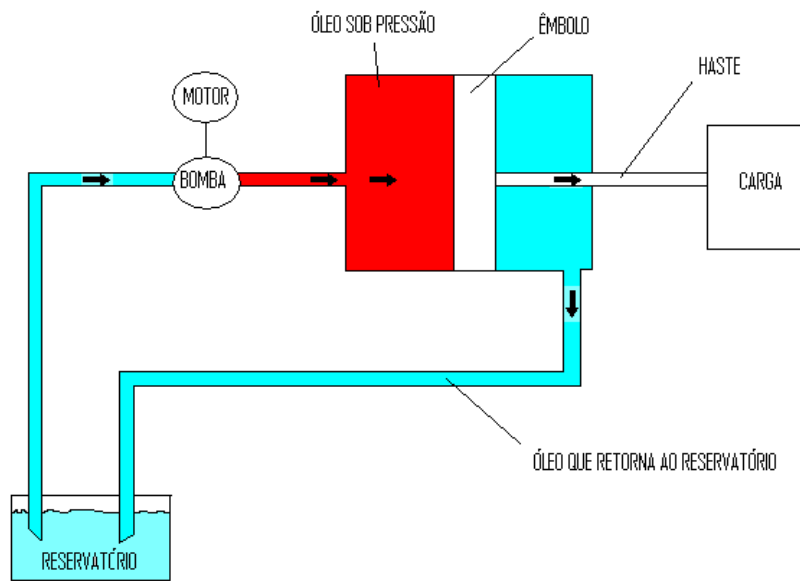


Figura 3.2 Desenho ilustrativo de sistema hidráulico. Por simplicidade, omitiram-se do circuito manômetro, filtros e válvulas.

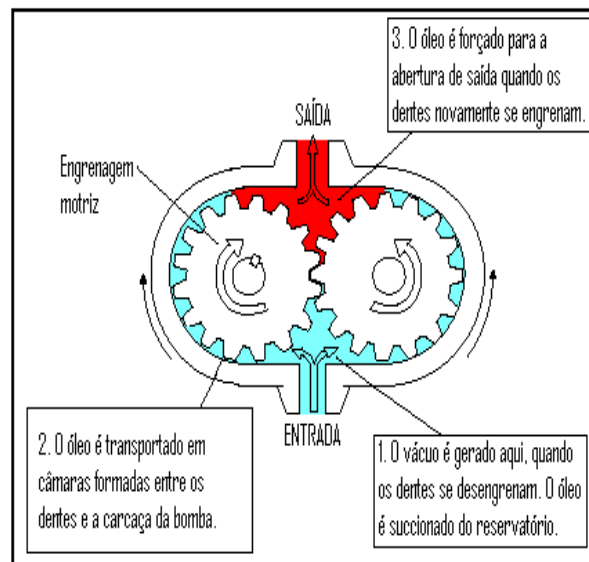


Figura 3.3 Desenho ilustrativo de bomba de engrenagens.

As válvulas são o “cérebro” de qualquer sistema hidráulico. Através delas, é possível direcionar o óleo hidráulico, através de mangueiras; são as chamadas *válvulas direcionais*, que servem para variar o movimento dos atuadores. Também é possível controlar a força com a qual se deseja trabalhar, variando a pressão do óleo com as *válvulas de ajuste de pressão*. Já

com as *válvulas de ajuste de vazão*, controla-se a velocidade com que os cilindros trabalham, variando a vazão de óleo. E, com as *válvulas de segurança*, é possível controlar a pressão máxima desejada no sistema.

O princípio de funcionamento da válvula de ajuste de pressão envolve um balanço de forças, considerando uma mola e a pressão de óleo (Figura 3.4). A pressão é variada pela regulagem de um parafuso, que comprime ou descomprime a mola.

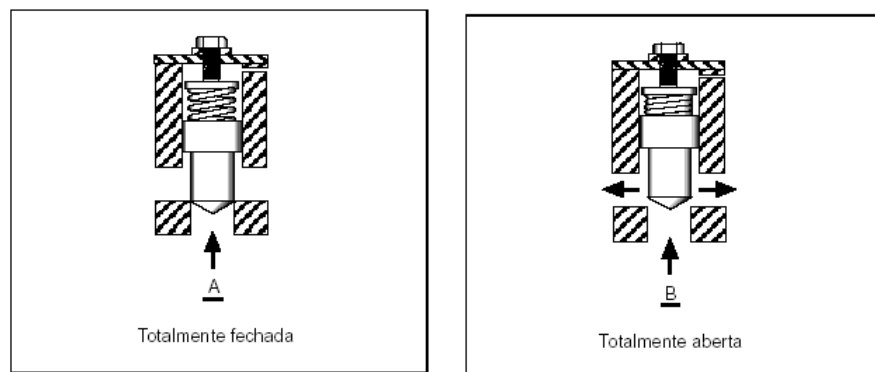


Figura 3.4. Válvula de ajuste de pressão. Da esquerda para a direita: posição totalmente fechada, não permitindo passagem de óleo; posição totalmente aberta (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999).

Para medir a pressão, é necessário um manômetro. Um dos mais utilizados é o *Tubo de Bourdon*, que consiste de uma escala calibrada e de um ponteiro ligado, através de um mecanismo, a um tubo oval (Figura 3.5). É conectado à linha de pressão do sistema. Conforme a pressão aumenta, tende a endireitar-se devido às diferenças nos diâmetros externo e interno do tubo. Esta ação de endireitamento provoca o movimento do ponteiro, registrando assim a pressão. Trata-se de um instrumento de boa precisão.

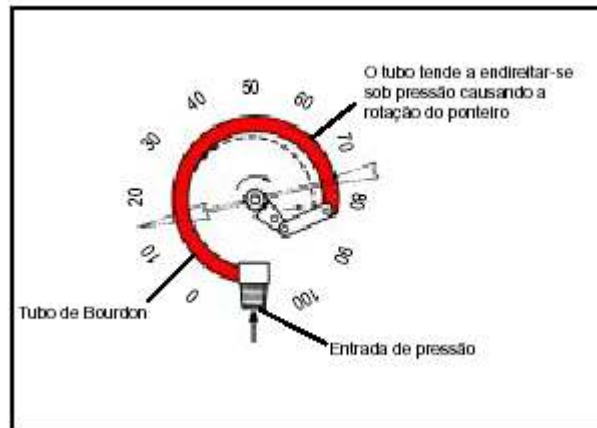


Figura 3.5 Manômetro de Bourdon (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999).

Um sistema hidráulico não é uma fonte de energia. A fonte de energia é um acionador, como por exemplo um motor elétrico que gira a bomba. Com base nisto, pode-se perguntar por que não ligar diretamente o motor no atuador. A resposta está na grande versatilidade da energia hidráulica.

Dentre as vantagens do acionamento hidráulico, podem-se citar:

- a) velocidade variável: ao contrário de muitos motores elétricos, o atuador de um sistema hidráulico pode ser acionado a velocidades variáveis e infinitas, utilizando por exemplo uma válvula controladora de vazão.
- b) reversibilidade: os atuadores reversíveis normalmente precisam ser quase parados antes da inversão do sentido de rotação. Um atuador hidráulico pode ser revertido instantaneamente, em pleno movimento, com o auxílio de uma válvula de segurança para evitar pressões excessivas; da mesma forma, ele pode ser parado instantaneamente.
- c) proteção contra sobrecargas: com uma válvula de segurança, protege-se o sistema hidráulico de sobrecargas; quando a carga excede o limite da válvula, o fluxo da bomba é simplesmente desviado para o reservatório do sistema.
- d) dimensões reduzidas: tem-se bastante força, em mínimo peso e espaço. Além disso, com o uso de mangueiras, o atuador pode estar relativamente distante do restante do sistema.
- e) operação submersa: sistemas hidráulicos podem ser utilizados submersos sem o risco de choques elétricos.

3.2 Cilindros Hidráulicos

São atuadores lineares, pois convertem energia hidráulica em energia mecânica de forma linear (Figuras 3.6 e 3.7). Com óleo hidráulico impulsionado por uma bomba geram força, que é produto da pressão do óleo pela área em contato com o êmbolo do cilindro. A pressão não é gerada pela bomba; ela apenas impulsiona o fluido (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999). A pressão do óleo é resultado da resistência ao deslocamento.

Os cilindros hidráulicos consistem de uma camisa de cilindro, uma haste ligada a um êmbolo móvel, um guia (que conduz a haste), e um fundo que pode ser preso por solda, tirantes, ou rosca. Possuem também conexões para entrada e saída de óleo, e vedações para evitar vazamentos.

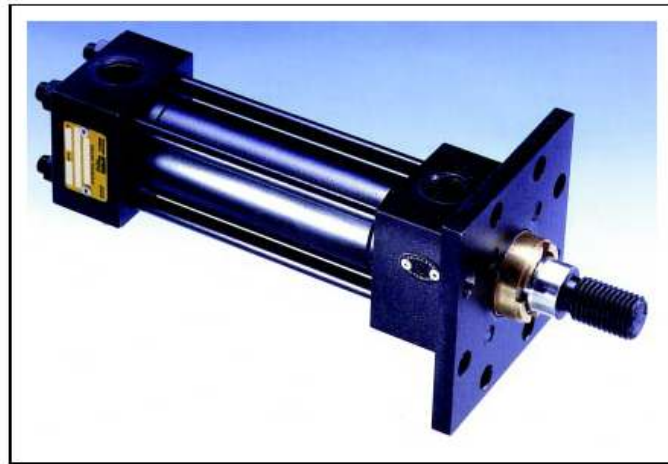


Figura 3.6 Cilindro Hidráulico. (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999).

A haste do êmbolo pode ser de aço e deve ser retificada, polida e cromada, para assegurar uma superfície lisa e resistente a abrasão e amassamento. Desta forma obtém-se uma boa vedação, e maior durabilidade.

A camisa deve possuir um bom acabamento interno (na área em contato com o óleo hidráulico), para que se tenha uma boa vedação. Riscos na camisa não são tolerados. O processo de brunimento é capaz de satisfazer este requisito.

O êmbolo normalmente é fixado à haste por rosca. A pressão do óleo (P) agindo sobre o êmbolo (de área A) gera uma força (F), que pode ser calculada pela expressão

(equação 2)

$$F = P \times A$$

Quanto às vedações, podem ser utilizados anéis de borracha do tipo “O ring”, gaxetas, anéis anti-extrusão, anéis raspadores, etc. Elas são úteis para evitar vazamento e perda de pressão, e para proteger o cilindro contra contaminantes.

Existem diferentes tipos de cilindros hidráulicos, que podem ser de simples ou de duplo efeito (quando o fluido hidráulico é operado nos dois sentidos).

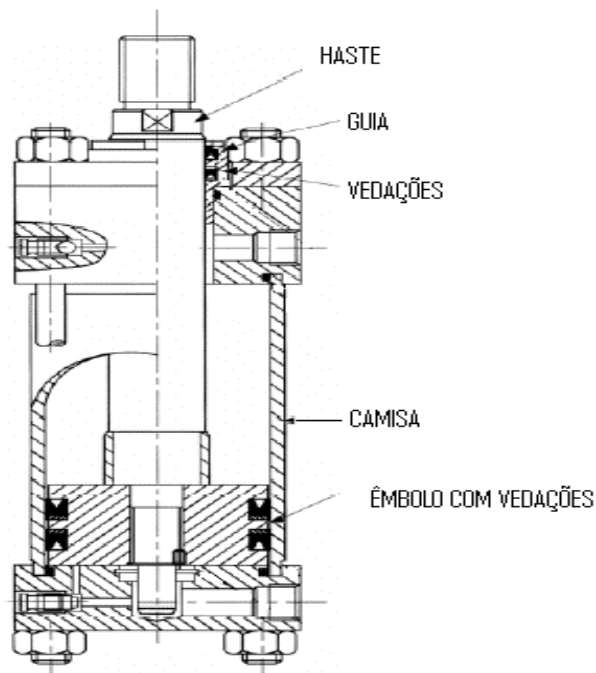


Figura 3.7 Desenho de cilindro hidráulico. (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999).

3.2.1 Velocidade de cilindros hidráulicos

A velocidade (V) com que o êmbolo (e conseqüentemente a carga) se desloca, para uma dada vazão (Q) proporcionada pela bomba, e uma dada área (A) preenchida por óleo no cilindro hidráulico, é dada por

(equação 3)
$$V = Q/A$$

Assim, de acordo com a equação 3, conclui-se que a velocidade depende da vazão, e é independente da pressão.

3.2.2 Potência de cilindros hidráulicos

A potência (Pot) é o produto da vazão pela pressão, dada por

(equação 4)
$$\text{Pot} = Q \times P$$

3.3 O problema da contaminação em sistemas hidráulicos

Sabe-se que contaminantes em sistemas hidráulicos são responsáveis por mais de 75% das falhas (Manual de Filtragem Hidráulica).

A contaminação gera uma série de danos, podendo-se citar:

- bloqueio dos orifícios de passagem de óleo;
- desgaste dos componentes;
- formação de óxidos de ferro, ou outros óxidos;
- formação de componentes químicos;
- perda de eficiência dos aditivos;
- formação de componentes biológicos no sistema.

Quanto aos prejuízos provocados pela contaminação, podem-se citar:

- perda de produção (paradas);
- custos de reposição dos componentes;
- reposição freqüente do fluido;
- baixa vida dos componentes;
- aumento dos custos de manutenção geral;
- aumento do índice de sucata.

Estes contaminantes podem ser partículas duras, como sílica, carbono e metal, ou partículas maleáveis, como borracha, fibras e microorganismos.

Quanto à origem dos contaminantes, são oriundos de sujeira, respingos de solda, partículas de borracha de mangueiras e vedações, areia de fundição, cavacos de usinagem, etc (Manual de Filtragem Hidráulica). Quando o fluido é inicialmente adicionado ao sistema, contaminação é introduzida. Quando o sistema está em operação, a contaminação entra através de tampas de respiro do reservatório, vedações gastas, etc. Também é gerada por

ocorrer reações químicas do sedimento do metal (composto de partículas menores que cinco micrometros) com a superfície dos componentes.

Novos contaminantes são gerados continuamente durante a operação do sistema, através de diversos tipos de desgaste:

- desgaste abrasivo – partículas duras ligando duas superfícies em movimento, desgastando uma ou ambas;

- desgaste por cavitação – fluxo de entrada restrito para a bomba causa vazios de fluido, que implodem, causando choques e ocasionando pequenas quebras na superfície do material;

- desgaste por fadiga – partículas passando pela folga entre componentes causam tensões repetitivas na superfície, ocasionando fadiga;

- desgaste erosivo – partículas finas em fluxos de alta velocidade desgastam um canto vivo;

- desgaste adesivo – perda do filme de óleo permite o contato metal com metal, entre superfícies em movimento;

- desgaste corrosivo – contaminação por água (ou química) no fluido causa formação de óxidos de ferro.

Em cilindros hidráulicos, a presença de contaminantes é percebida ao ocorrer vazamento interno, devido a riscos em camisa e êmbolo; ou vazamento externo, relacionado ao desgaste e perda de eficiência das vedações ou riscos (ranhuras) na haste. Vazamento interno, que é a passagem de óleo de uma câmara do cilindro para outra, é percebido visualmente por ocorrer movimento indesejado da carga ligada à haste. Este movimento pode ocorrer em poucas horas, quando o cilindro não estiver operando.

3.3.1 Padrões de limpeza do óleo hidráulico

A norma ISO 4406 (Códigos de Níveis de Contaminação) possui uma vasta aceitação na indústria. Esta norma especifica como registrar a contaminação (Manual de Filtragem Hidráulica). Para determinar o nível de contaminação do óleo é realizada a contagem de partículas em uma amostra; para tal, utilizam-se instrumentos óticos bastante sensíveis (ver item 3.3.3), que as classificam em faixas de tamanho.

Um código de nível de contaminação, segundo a ISO 4406, seria, por exemplo, 18/16/13. Os dois primeiros dígitos se referem ao número de partículas maiores que dois micrometros; o terceiro e o quarto dígitos se referem ao número de partículas maiores que

cinco micrometros, e os dois últimos a partículas maiores que quinze micrometros. Estes dígitos devem ser comparados com a Tabela 3.1, para a obtenção do número de partículas por mililitros de amostra.

Tabela 3.1 Quadro para obtenção do número de partículas por ml de amostra, segundo codificação da norma ISO 4406.

Número de partículas	Mais de	Até e inclusive
24	80.000	160.000
23	40.000	80.000
22	20.000	40.000
21	10.000	20.000
20	5.000	10.000
19	2.500	5.000
18	1.300	2.500
17	640	1.300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2,5	5
8	1,3	2,5
7	0,64	1,3
6	0,32	0,64

Assim, para o código ISO 4406 18/16/13, conforme a Tabela 3.1 lê-se que existem entre 1.300 e 2.500 partículas maiores que 2 micrometros, entre 320 e 640 partículas maiores que 5 micrometros, e entre 40 e 80 partículas maiores que 15 micrometros.

Para a operação de cilindros hidráulicos, o nível recomendado de limpeza do óleo é de, no mínimo, ISO 20/18/15 (Manual de Filtragem Hidráulica).

Uma outra classificação para níveis de limpeza de fluido é baseada na norma NAS 1638. Para cada código ISO existe um número equivalente NAS, que varia de 1 a 12. Quanto menor o número NAS, maior o nível de limpeza do fluido. Para o código ISO 20/18/15, por exemplo, o número NAS é 9. As normas NAS são da indústria aeroespacial norte-americana.

3.3.2 A contaminação do óleo hidráulico

O óleo hidráulico possui quatro funções: transmitir energia; lubrificar peças internas que estão em movimento; transmitir calor; vedar folgas entre peças em movimento. A contaminação do óleo interfere nas três primeiras.

Quanto à transmissão de energia, interfere vedando pequenos orifícios nos sistemas hidráulicos; nesta condição, a ação das válvulas é imprevisível, improdutiva e insegura.

Sabe-se que devido à viscosidade, atrito e mudança de direção do fluido, gera-se calor. Os contaminantes interferem na dissipação de calor por formar um sedimento que torna difícil o resfriamento do óleo nas paredes do reservatório, que é o desejado.

A falta de lubrificação é o maior problema, porque gera desgaste excessivo, resposta lenta, operações fora de seqüência, queima da bobina do solenóide (utilizado para modificar posição de válvulas) e falha prematura do componente.

Com a operação do sistema, as partículas presentes geram desgaste. Como resultado obtém-se ainda mais partículas, que aceleram o desgaste.

Para prevenir a contaminação por partículas, certas recomendações são interessantes:

- utilizar uma bomba, para transferir óleo do tambor para o sistema, equipada com filtro de, no mínimo, 25 micrometros;
- utilizar somente mangueiras e recipientes limpos, para transferir óleo do tambor ao reservatório.
- utilizar filtros de ar, nas saídas do reservatório.
- abastecer adequadamente o reservatório, para que o calor se dissipe de forma adequada no mesmo, evitando que umidade condense nas paredes externas.

Outro tipo de contaminação que deve ser evitada é a inserção de água no óleo hidráulico. Excesso de água no sistema pode causar uma série de danos, como por exemplo: corrosão da superfície do metal; desgaste abrasivo acelerado; falha nas funções dos aditivos do fluido; variação da viscosidade, que deve ser mantida constante; etc. Dentre as fontes de água, podem-se citar: vedação do atuador desgastado, condensação, vazamento em trocadores de calor utilizados para resfriar o óleo, entre outras.

3.3.3 Métodos de análise de fluido

A análise do óleo hidráulico determina o seu nível de contaminação geral. Trata-se de uma operação muito importante, visto que a maior parte das falhas que ocorrem em sistemas hidráulicos é causada por contaminantes. Os seguintes métodos de análise de fluido podem

ser mencionados: Teste de Membrana; Contagem de Partículas; Análise de Laboratório (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999).

Teste de membrana: é uma análise visual das partículas contidas no fluido. Uma amostra é extraída do sistema, e é submetida a um filtro de membrana, que é analisado em microscópio em relação a cor e conteúdo, e comparado a padrões ISO. Tem-se assim uma estimativa “passa-não-passa” do nível de pureza do sistema. A margem de erro é alta, devido ao fator humano.

Contador de partículas: trata-se de um aparelho portátil, que utiliza “LASER”. Conta a quantidade de partículas, para cada faixa de tamanho especificada, em menos de um minuto. Possui grande precisão.

Análise de laboratório: é a análise que dá uma visão completa do fluido hidráulico. Ao pedir uma análise de fluido a um laboratório, normalmente é oferecido um pacote: viscosidade, número de neutralização, conteúdo de água, contagem de partículas, análise espectrométrica, foto micrográfica, etc.

Ao coletar uma amostra de um sistema hidráulico, é necessário que ela seja realmente representativa. A norma da National Fluid Power Association, denominada NFPA T2.9.1, indica os procedimentos para a coleta.

3.3.4 Filtros

Todos os fluidos hidráulicos possuem uma certa quantidade de contaminantes. São necessários filtros para prevenir contaminação. Normalmente utilizam-se três espécies de filtros: o de sucção, o de pressão e o de retorno (Manual de Hidráulica Industrial, 1980).

O filtro de sucção é posicionado na linha de sucção, ou seja, antes do óleo chegar na bomba; serve para protegê-la. É um filtro mais grosseiro, pode possuir malha de filtragem de até 200 micrometros.

O filtro de pressão é posicionado no circuito entre a bomba e um componente do sistema, ou entre componentes. A malha de filtragem destes filtros é de 3 a 40 micrometros. São capazes de filtrar partículas muito finas, impulsionadas pela pressão do óleo.

O filtro de retorno é posicionado logo antes de o óleo retornar ao reservatório. Habitualmente possui malha entre 5 e 40 micrometros.

Os filtros possuem um indicador, que mostra quando precisam ser trocados. Este indicador funciona por ocorrer uma diferença de pressão crescente, à medida que o filtro é obstruído pela contaminação.

3.4 Propriedades do fluido hidráulico

O óleo hidráulico deve possuir viscosidade adequada; capacidade de lubrificação; resistência à oxidação; capacidade de proteger contra corrosão; demulsibilidade (Manual de Hidráulica Industrial, 1980).

3.4.1 Viscosidade

Quanto à viscosidade, existe uma solução de compromisso. A princípio, a viscosidade deve ser alta, para manter a vedação entre superfícies justapostas. Porém, se ela for alta demais, tem-se muito atrito, resultando em:

- alta resistência ao fluxo;
- aumento de consumo de energia, pois ocorre perdas por atrito;
- alta temperatura;
- maior queda de pressão hidráulica;
- operação vagarosa;
- dificuldade em separar o ar do óleo, no reservatório. Ar não é desejado no óleo, por ser extremamente compressível. Tem-se assim perda de energia.

Por outro lado, se a viscosidade for baixa demais, ocorrem os seguintes problemas:

- vazamento interno;
- gasto excessivo ou engripamento, sob carga pesada, devido à decomposição química da película de óleo entre as peças móveis;
- redução do rendimento da bomba, com operação mais lenta do atuador;
- aumento de temperatura, devido a perdas por vazamento.

A viscosidade diminui com o aumento da temperatura. Desta forma, temperaturas acima das recomendadas para o óleo hidráulico irão ocasionar os problemas citados, relacionados à baixa viscosidade.

3.4.2 Capacidade de lubrificação

As peças móveis de um sistema hidráulico necessitam de folga suficiente para se movimentarem numa fina película de fluido. Esta condição se chama película de lubrificação. Enquanto o fluido contiver uma viscosidade adequada, as imperfeições mínimas nas superfícies das peças não se tocam.

3.4.3 Resistência à oxidação

A oxidação reduz sensivelmente a vida útil de um fluido. Aditivos devem ser adicionados para aumentar a resistência à oxidação do óleo.

3.4.4 Capacidade de proteger contra corrosão

O atuador é protegido contra a corrosão pela presença de aditivos no fluido, que revestem a superfície metálica, evitando que seja quimicamente atacada.

3.4.5 Demulsibilidade

O óleo hidráulico deve possuir um alto grau de demulsibilidade, ou seja, capacidade de isolar água, que é prejudicial aos sistemas hidráulicos por promover união de contaminantes, acelerando o desgaste.

3.5 Encanamento

Encanamento é um termo geral que engloba os tipos de condutores que transportam fluido hidráulico, assim como as conexões utilizadas entre os condutores. Os condutores podem ser mangueiras flexíveis, tubos de aço, canos de plástico.

3.6 Vazamento

Vazamento excessivo em um circuito hidráulico reduz o rendimento, consumindo energia ou criando problemas de derrame de óleo. Atualmente, mesmo o mínimo vazamento não é tolerado, por questões ambientais.

3.6.1 Vazamento interno

A contaminação do fluido pode gerar problemas em relação a este assunto. Se se tiver um cilindro hidráulico trabalhando um certo número de ciclos, com fluido impregnado de contaminantes, obtém-se como resultado um êmbolo repleto de riscos; quando a bomba é desligada, e o cilindro pára de trabalhar, pode ocorrer um movimento indesejado da haste (de velocidade relativamente alta), devido à perda de pressão, pois óleo flui através das passagens criadas pelos riscos.

3.6.2 Vazamento externo

Vazamento externo é anti-econômico, pois se perde óleo. Também não é tolerado por questões ambientais. Ocorre devido a vedações mal instaladas, pressão de operação excessiva, soldas com porosidades, materias com trincas ou porosidades.

3.6.3 Vedação

A vedação é necessária para manter a pressão, impedir a perda de óleo, e prevenir entrada de contaminantes. Existem diferentes formas de vedação; em cilindros hidráulicos, comumente utilizam-se anéis anti-extrusão, “O-ring” e gaxetas para impedir perda de óleo e manter a pressão. Os anéis raspadores são posicionados de forma a impedir entrada de contaminantes nos cilindros.

O anel “O-ring” é instalado em uma ranhura anular do cilindro, e comprimido em ambos os lados (Figura 3.8). Quando pressão é aplicada, o anel é forçado contra uma terceira superfície, gerando a vedação. Um acréscimo de pressão forçaria o “O-ring” a extrudar-se; por isto, também é utilizado um anel anti-extrusão.

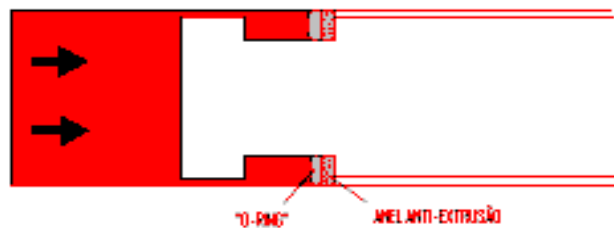


Figura 3.8 Desenho ilustrativo. Vedações: anéis anti-extrusão e “O-ring”.

3.7 Símbolos gráficos da Hidráulica

Na indústria, comumente utilizam-se símbolos gráficos para os componentes de sistemas hidráulicos (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999). Na Figura 3.9, encontram-se símbolos para diferentes componentes. Na Figura 3.10, encontra-se o mesmo sistema da Figura 3.2, representado simbolicamente. Mais itens foram adicionados ao sistema: filtro, manômetro, válvula de ajuste de pressão e válvula direcional guiada por solenóide. Este último possui três posições (da esquerda para a direita): avanço do cilindro, óleo diretamente ao reservatório e retorno do cilindro.

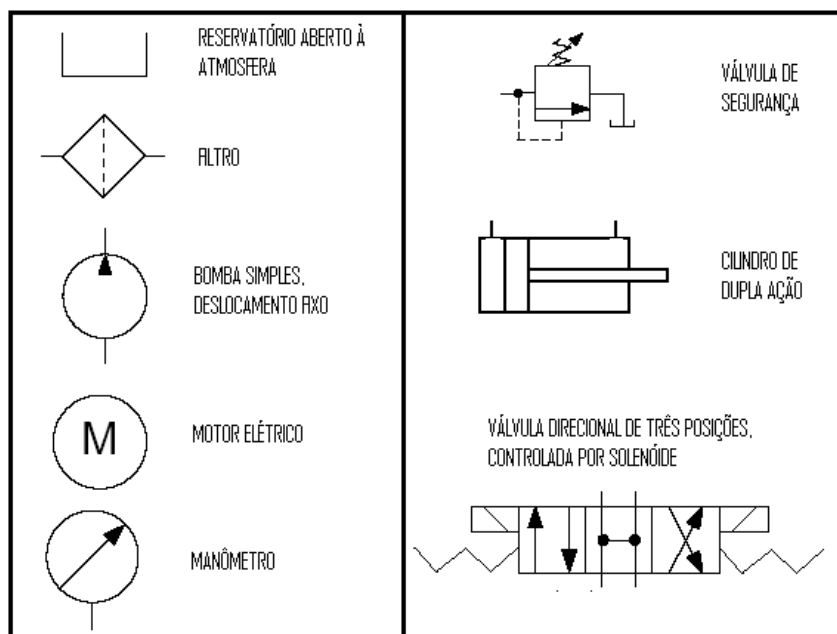


Figura 3.9 Alguns símbolos gráficos utilizados em Hidráulica (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999).

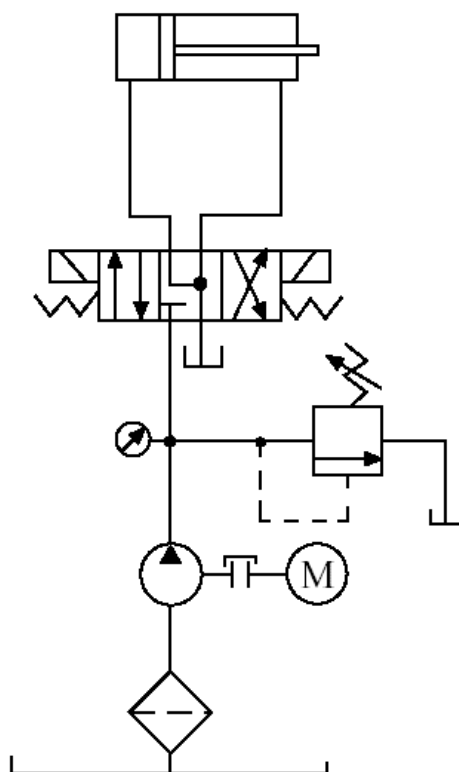


Figura 3.10 Sistema hidráulico simples, representado por simbologia padrão da indústria. Comparar com Figura 3.2 (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999).

4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 “Benchmarking”

Realizaram-se atividades de Benchmarking internos e externos com as seguintes unidades e empresas: Laboratório da Galvânica da Soprano, Laboratório de Controle de Qualidade de um fabricante de máquinas agrícolas da grande Porto Alegre, Laboratório de Metalurgia Física da UFRGS, Laboratório de Genética da UFRGS, e diversos laboratórios do CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia.

4.1.1 “Benchmarking” no Laboratório da Galvânica - Soprano

Inicialmente, realizou-se atividade de “benchmarking” no Laboratório da Galvânica da Soprano, localizado na Manufatura Metálicos, em Farroupilha-RS. Lá realizam-se processos de galvanização em ferragens para janelas, portas e portões, e também em cilindros hidráulicos. Os objetivos desta visita foram os seguintes:

- verificar os equipamentos lá existentes, possivelmente úteis para as atividades do Laboratório de Controle de Contaminação;
- obter contatos de fornecedores para equipamentos e substâncias químicas;
- obter informações sobre tratamento de efluentes e resíduos de laboratório.

4.1.2 “Benchmarking” em fabricante de máquinas agrícolas

Após, visitou-se o Laboratório de Controle de Qualidade de um fabricante de máquinas agrícolas. Lá realizam-se análise gravimétrica e medição de partículas via microscopia ótica. Os objetivos da visita foram os mesmos do item anterior, além de acompanhar a técnica de execução destes ensaios.

4.1.3 “Benchmarking” em centros de pesquisa para definição do microscópio

Em relação ao microscópio para um Laboratório de Controle de Contaminação, existem três possibilidades: microscópio de luz transmitida (utilizado para pesquisas biológicas), de luz refletida (estereomicroscópio) e o metalográfico. Para definir o

microscópio de melhor relação custo/benefício, todas as possibilidades foram testadas, avaliando-se a imagem obtida em uma amostra (filtro de papel com partículas, resultantes de um ensaio de controle de contaminação). Para isto, os seguintes centros de pesquisa foram visitados: Laboratório de Metalurgia Física da UFRGS, Laboratório de Genética da UFRGS, e diversos laboratórios do CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia.

4.2 Normas para os ensaios do Laboratório de Controle de Contaminação

Diferentes clientes da Soprano possuem normas para a obtenção do controle da contaminação em cilindros hidráulicos, que foram utilizadas na elaboração do procedimento das análises. Os ensaios recomendados são a análise gravimétrica e a medição de partículas através de microscopia ótica.

Existem também normas ISO referentes à execução destas análises. Podem-se citar as normas ISO 4405, sobre análise gravimétrica, e a ISO 4406, sobre códigos de níveis de contaminação.

A análise gravimétrica fornece a medida do nível de contaminação, em mg/m^2 , da região do cilindro a ser analisada. Inicialmente, lava-se a região com um solvente volátil e de alto poder de dissolução (como tricloroetileno, álcool iso-propílico, e outros) Em seguida, recolhe-se esta solução de lavagem, contendo as partículas que estavam sobre a peça, que é submetida a uma filtração acelerada por bomba de vácuo. O filtro de membrana do equipamento de filtração é secado em estufa, posto em um dessecador, e pesado; esta operação é realizada antes e depois da filtração. A diferença de peso do filtro de membrana utilizado, antes e depois do processo de filtração, por metro quadrado de peça lavada, é o indicador de contaminação. Tem-se assim a medida do nível de contaminantes em um cilindro hidráulico, em mg/m^2 .

As partículas contidas no filtro de membrana devem ser medidas, logo após a pesagem do mesmo (com os contaminantes). Dependendo de cada projeto, deve-se definir um tamanho máximo de partícula permissível. Uma possibilidade seria fazer a análise das partículas utilizando imagens obtidas por câmera digital acoplada ao microscópio, e “software” adequado; outra seria utilizar um retículo acoplado a uma ocular, e um estágio micrométrico (dispositivo com divisões de 10 micrometros, necessário para calibrar o retículo). Nesta última possibilidade, uma imagem similar à da Figura 4.1 é obtida.

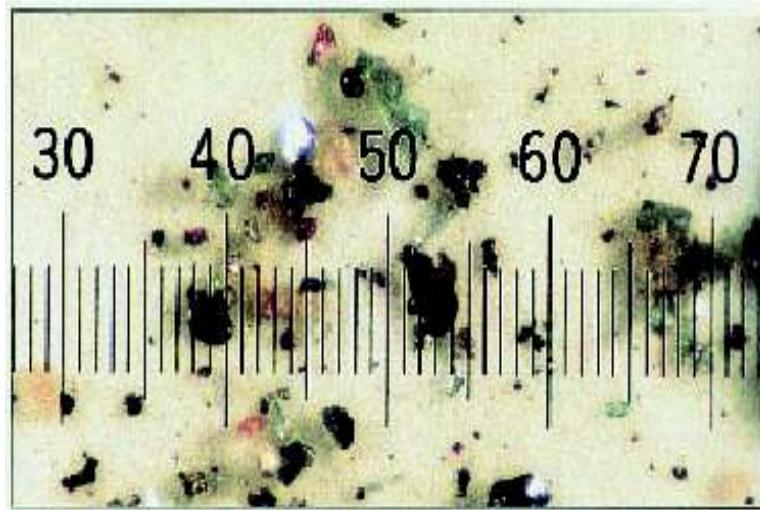


Figura 4.1 Medição de partículas resultantes de filtração. A escala visualizada deve ser calibrada com um estágio micrométrico, para cada aumento. Extraído de Tecnologia Hidráulica Industrial, p. 19. Disponível em <<http://www.parker.com>> Parker Training, apostila M2001-1 BR, 1999.

Desta forma, seriam necessários os seguintes equipamentos para a realização dos ensaios supracitados:

- solvente com alta volatilidade e alto poder de dissolução, como tricloroetileno, alcoóis, etc;
- recipiente para coleta de solvente;
- filtro de membrana, com porosidade de 5 micrometros;
- equipamento de filtração, contendo funil filtrante, base para o filtro de membrana, e recipiente de vidro conectado a bomba de vácuo;
- balança analítica (precisão de 0,1 mg);
- estufa de secagem;
- microscópio com sistema de medição acoplado;
- dessecador;
- capela de exaustão de gases;
- pisseta;
- pinça;

4.2.1 Avaliação do solvente para a análise gravimétrica

Através dos itens 4.1 e 4.2, tomou-se conhecimento de diferentes possibilidades para o solvente aplicável na limpeza dos componentes, etapa necessária na análise gravimétrica. Três solventes foram testados neste trabalho: álcool etílico 99%, álcool iso-propílico P. A. (recomendado por um dos clientes da Soprano) e ARCLEAN SVI 180. Este último é uma mistura de hidrocarbonetos atóxica que, segundo o fabricante, substitui o tricloroetileno sem ser tóxico e sem a necessidade de tratamento dos resíduos.

Para a avaliação da eficiência dos solventes na limpeza dos componentes, seguiu-se um critério sugerido por um dos clientes da Soprano. Trata-se de realizar a análise gravimétrica, conforme procedimento descrito no item 5.0, duas vezes no mesmo componente. No primeiro ensaio, obtém-se um nível de contaminação (C_1) em mg/m^2 . No segundo ensaio, realizado logo em seguida no mesmo componente, um nível C_2 . Se o solvente limpou bem a peça, C_2 deve ser bem menor do que C_1 . Dividindo-se C_2 por C_1 , deve-se obter um valor menor do que 0,1 ; caso contrário, o solvente não é eficaz.

O tricloroetileno não foi considerado. Embora possivelmente seja o melhor solvente para este tipo de análise, é altamente tóxico ao ser humano e altamente agressivo ao meio ambiente. Desta forma, uma nova solução merece ser pesquisada.

4.3 Área física disponibilizada

A Soprano disponibilizou, para a construção do Laboratório de Controle de Contaminação, uma área de aproximadamente 25 m^2 (Figura 4.2).

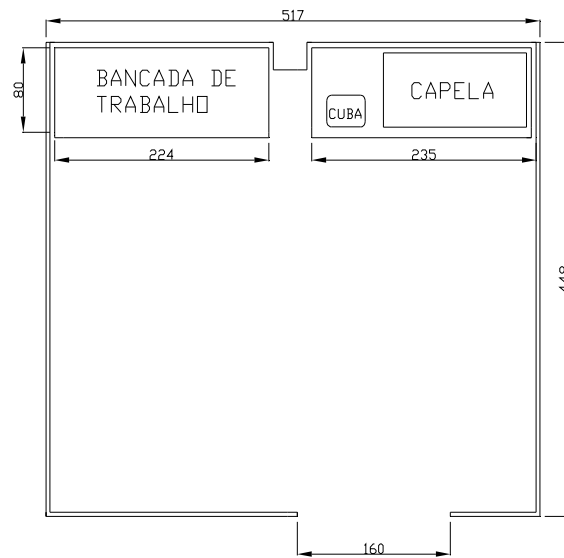


Figura 4.2 Área física disponibilizada para o Laboratório de Controle de Contaminação. Medidas em centímetros.

Foram comprados dois balcões para o laboratório. Em um deles fez-se um tampo de mármore, onde foi posta a capela de exaustão de gases e uma cuba. No outro colocaram-se os demais equipamentos.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados do “Benchmarking”

5.1.1 “Benchmarking” no Laboratório da Galvânica - Soprano

No Laboratório da Galvânica da Soprano, contatos de fornecedores de substâncias químicas e de equipamentos (como balança analítica, vidrarias, e outros) foram obtidos informações sobre manuseio de substâncias perigosas e tratamento de efluentes.

5.1.2 “Benchmarking” em fabricante de máquinas agrícolas

No laboratório da empresa fabricante de máquinas agrícolas, acompanhou-se a execução da determinação do nível de contaminação de peças via análise gravimétrica e medição de partículas encontradas entre os contaminantes.

Em relação à análise gravimétrica, o solvente utilizado nesta empresa é o NEUTRI (tricloroetileno). Trata-se de um solvente organoclorado. Deve ser manipulado com cuidado, por ser cancerígeno, mutagênico, altamente tóxico, perigoso para o meio ambiente e extremamente inflamável.

Observou-se que, durante os ensaios com NEUTRI, devem ser utilizados os seguintes equipamentos de segurança: máscara 3M com carvão ativado, luva nitrílica, óculos protetor, e capela de exaustão de gases.

Em relação à medição de partículas, no laboratório desta empresa utiliza-se um equipamento LEIKA; trata-se de um microscópio trinocular do tipo metalográfico conectado a uma câmera digital, que, por sua vez, transmite as imagens para um microcomputador. Através de um “software”, as imagens são analisadas, e as partículas são dimensionadas. A partícula é medida traçando uma reta na imagem obtida da mesma, com o auxílio do “mouse”. Para este tipo de análise não são aconselháveis aumentos maiores que 50X, por ocorrer diminuição na profundidade de foco (torna-se difícil observar partículas em planos diferentes), além do campo de visão tornar-se menor.

Tornaram-se assim evidentes possíveis fontes de erro na análise gravimétrica, descritas no item 5.7.

5.1.3 “Benchmarking” em centros de pesquisa para definição do microscópio

As imagens obtidas nos microscópios descritos a seguir foram obtidos com amostra resultante da gravimetria descrita no item 5.1.2.

No Laboratório de Metalurgia Física da UFRGS (LAMEF) verificou-se que utilizando um microscópio metalográfico só é possível a observação com o aumento de 50 X, que é o menor. Devido à diminuição na profundidade de foco, aumentos maiores não são possíveis.

Ainda no LAMEF, utilizando um estereomicroscópio (uma “lupa”) equipado com um retículo micrométrico de 100 divisões e uma régua para calibração, fez-se medição de partículas no aumento de 40 X.

Com 50 X, uma partícula de 50 micrometros é vista com o tamanho de 2,5 mm; assim, esta magnitude já seria adequada para a medição de partículas. Levando em consideração as necessidades dos clientes da Soprano para a medição de partículas, um microscópio com aumento máximo de 50 X já seria adequado.

No Laboratório de Genética da UFRGS e no CIENTEC foram realizados testes com diversas marcas e modelos de estereomicroscópios (luz refletida) e com microscópios de luz transmitida. Verificou-se que com luz transmitida e com estereomicroscópios é possível uma boa imagem para a amostra em questão com aumentos de até 200 X.

As imagens obtidas com luz transmitida, embora satisfatórias para a medição de partículas, apresentam uma menor riqueza de detalhes. Os estereomicroscópios e o metalográfico apresentam imagens igualmente ricas em detalhes. Uma vantagem do estereomicroscópio é o recurso de “zoom” variável, ou seja, diversos aumentos podem ser obtidos dentro da sua faixa de ampliação, o que seria útil na análise de partículas.

Desta forma, definiu-se como adequado para o Laboratório de Controle de Contaminação um estereomicroscópio (luz refletida) com aumento maior do que 50 X, equipado com uma ocular reticulada de 100 divisões, e um estágio micrométrico com divisões de 10 micrometros. Um estágio micrométrico nada mais é do que uma pequena régua, necessária para calibrar as divisões da ocular.

5.2 Implantação do Laboratório de Controle de Contaminação

Na Figura 5.1 tem-se uma vista geral do Laboratório de Controle de Contaminação, com os equipamentos adquiridos.



Figura 5.1 Vista geral do Laboratório de Controle de Contaminação.

5.2.1 Especificação e compra dos equipamentos

Com base nos itens 4.1 e 4.2 definiram-se os equipamentos necessários. No processo de compra dos equipamentos diversos fornecedores foram contatados, conforme normas da Soprano, para efeito de negociação de preços. A Tabela 5.1 resume as características que foram consideradas na especificação e compra dos equipamentos.

Tabela 5.1 Características dos equipamentos adquiridos para o Laboratório de Controle de Contaminação.

<i>Equipamentos</i>	<i>Características-chave dos equipamentos</i>
Capela de exaustão de gases	Tamanho grande (150x70x130 cm), exaustor 1/3 CV, constituída de fibra de vidro
Equipamento de filtragem	Resistente ao vácuo. Composto de funil filtrante, base para filtro de membrana e recipiente Kitassato.
Balança analítica	Repetibilidade 0,1 mg
Estufa de secagem	Circulação de ar por convecção
Microscópio	Estereomicroscópio de luz refletida, aumento entre 14 e 90 X (com “zoom” variável), equipado com ocular reticulada de 100 divisões e estágio micrométrico com divisões de 10 micrometros.
Bomba de vácuo	Capacidade de 30 l/min (mínima).
Acessórios diversos	Becker de 250 e de 500 ml, dessecador, recipiente coletor de aço inox, filtros de membrana de 5 µm, pinça, pincel, funil de vidro, pissetas, vidros de laboratório, esferas de aço inox.

5.2.2 Normas de segurança

Para proteção da pessoa que executa os ensaios, são necessários os seguintes equipamentos: luvas nitrílicas, óculos protetor “ampla visão” e capela de exaustão de gases.

Antes da utilização de qualquer produto químico, é necessária a leitura da FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos), que deve ser obtida com o fornecedor da substância, e deve estar com as informações exigidas pela norma NBR ABNT 14725/2001.

Um extintor de incêndio Classe C foi adquirido, adequado para incêndio provocado por curto-circuito elétrico e combustão de líquidos inflamáveis (é o caso dos solventes utilizados na análise gravimétrica).

5.3 Boletim técnico

O procedimento detalhado para a execução dos ensaios (análise gravimétrica e determinação de tamanho máximo de partícula) encontra-se no Boletim Técnico 77 da Soprano (Anexo A). Foi elaborado levando em consideração normas de clientes, “benchmarking”, e características técnicas dos equipamentos adquiridos.

Áreas de componentes que mantêm contato com óleo hidráulico, como hastes, êmbolos, área interna de camisas, podem ser ensaiadas. Para cada faixa de valores de contaminação, obtida através da análise gravimétrica, é atribuída uma classe de limpeza definida na Tabela 1 do Boletim Técnico 77. A maior partícula encontrada no filtro é medida. Os dados obtidos assim são comparados com a especificação do cliente.

Os ensaios devem ser realizados imediatamente antes da montagem do cilindro e de sua passagem pelo banco de testes. Nestes testes, realizados pouco antes da expedição, altas e baixas pressões hidráulicas em relação às projetadas para os cilindros são aplicadas, para testar em relação a vazamentos de óleo hidráulico (tanto externos como internos) e funcionamento do cilindro hidráulico.

No Boletim Técnico também constam instruções sobre a avaliação da eficácia do ensaio, fazendo-se dois ensaios consecutivos no mesmo componente. Se a razão entre o nível de contaminação obtido no segundo ensaio (C_2) e o obtido no primeiro (C_1) for menor do que 0,1, o ensaio está funcionando perfeitamente.

5.4 Instrução de Trabalho

Na Instrução de Trabalho 75 (Anexo B) encontram-se as medidas necessárias para a operação, manutenção e conservação dos equipamentos do Laboratório.

5.5 Relatório-padrão

No Anexo C encontra-se um relatório-padrão com o resultado das análises, que serve como registro do nível de contaminação do componente e pode ser apresentado aos clientes da Soprano. Desta forma comprova-se a adequação do produto às aplicações onde o controle de contaminação é exigido.

5.6 Avaliação da eficácia de solventes na análise gravimétrica

Na Tabela 5.2 encontram-se os resultados para o álcool etílico 99%, álcool isopropílico e ARCLEAN. Nela constam outros dados, como o componente que foi ensaiado e a área da superfície lavada. Cada ensaio foi realizado duas vezes no mesmo componente, para ser possível avaliar a repetibilidade, obtendo-se assim o índice de eficácia do ensaio C_2/C_1 . Foram utilizados nos ensaios um êmbolo e uma haste, testados com diferentes solventes. Os ensaios foram todos executados da mesma forma, em relação a tempo de lavagem, acessórios utilizados (pincel, por exemplo, para auxiliar remoção de contaminantes) e limpeza da vidraria.

Tabela 5.2 Resultados da avaliação da eficácia dos solventes para análise gravimétrica.

Ensaio	Solvente	Componente ensaiado	C_1 (mg/m ²)	C_2 (mg/m ²)	C_2/C_1
1	ARCLEAN	Êmbolo	2590	1041	0,40
2	ARCLEAN	Êmbolo	1816	1280	0,70
3	ARCLEAN	Êmbolo	3721	595	0,16
4	A. ISOPROPILICO	Êmbolo	595	268	0,45
5	A. ISOPROPÍLICO	Haste	139	64	0,46
6	A. ETÍLICO	Haste	134	48	0,36
7	A. ETÍLICO	Haste	104	9	0,08
8	A. ETÍLICO	Haste	87	30	0,35

Pela Tabela 5.2, percebe-se uma variabilidade muito grande em C_2/C_1 . A razão C_2/C_1 precisa ser menor do que 0,1. As fontes de erro devem ser minimizadas (ver item 5.7). Possivelmente a fonte de erro que mais influi nos resultados é a contaminação do ar, já que o laboratório foi instalado próximo à linha de produção.

Para o laboratório entrar em operação, servindo para o controle de qualidade a que se destina, ainda é necessário estabelecer certas condições, como estabilizar temperatura e umidade. É necessária também pressão positiva no laboratório para prevenir a contaminação do ar. Estas condições podem ser obtidas com um potente ar-condicionado equipado com desumidificador. Desta forma as fontes de erro seriam minimizadas, e os ensaios seriam possíveis.

Em relação ao custo, o álcool etílico e o ARCLEAN são mais baratos, o litro destes custa em torno de 2/5 do custo do álcool isopropílico.

Todos os solventes são altamente inflamáveis, por isto devem ser guardados em local ventilado. Nenhum deles é cancerígeno ou mutagênico. Os três irritam as mucosas (causam ardência nos olhos, por exemplo), por isto o exaustor deve estar ligado ao se trabalhar com eles. Caso o laboratorista não use luvas, corre o risco de contrair dermatite, devido à ação dos solventes voláteis na pele.

5.7 Fontes de erro

Dentre as fontes de erro abaixo, as que mais influenciam os ensaios, além da contaminação dos equipamentos e acessórios, possivelmente são a contaminação do ar e a umidade. Podem-se citar as seguintes:

- contaminação dos equipamentos e acessórios: os equipamentos (balança, estufa, capela de exaustão, etc.) devem ser bem limpos. Acessórios como: recipiente coletor, pincel, equipamento de filtragem, pissetas, etc. devem ser bem lavados e enxaguados com água destilada e um solvente.

- contaminação do ar: medidas devem ser tomadas para que o ar seja o mais limpo possível. Uma medida é a instalação de um ar condicionado, para evitar entrada de pó durante o ensaio (por gerar pressão positiva).

- umidade: deve ser mantida constante. Verificou-se através de testes com o filtro de membrana que pequenas variações na umidade são capazes de causar erros na pesagem.

- partículas na água: partículas relativamente grandes (impurezas, produtos de corrosão, etc.) podem ser encontradas em água corrente.

- material de limpeza: o material de limpeza não deve soltar fiapos. Embora seja fácil identificar pedaços (de esponja, de escova), evitando assim sua medição, eles contribuem para a massa final do filtro, sendo assim fonte de erro para a gravimetria.

- contaminação do solvente: análise gravimétrica e medição de partículas devem ser realizadas filtrando o solvente antes de ser utilizado, para verificar seu nível de contaminação.

- respingos durante aplicação do solvente: a perda de solução de lavagem, durante aplicação do solvente em componente do cilindro hidráulico, acarreta perda de partículas.

- resíduos no funil filtrante: alguns resíduos permanecem na área de contato do filtro com o funil filtrante.

- medição de partículas: automatizando o processo com uma câmera digital acoplada a um computador, as análises seriam mais precisas porque eliminariam o fator humano na busca e medição das partículas. Um software livre como o “Image Tools”, que é um analisador de imagens, seria adequado.

5.8 Sugestões para a melhoria da qualidade do produto

Na revisão bibliográfica, citou-se o fato de que mais de 75% das falhas possíveis de ocorrer em sistemas hidráulicos são ocasionadas pela contaminação. Para melhorar a qualidade do produto em relação à contaminação, evitando que os cilindros hidráulicos produzidos falhem em campo, três condições deveriam ser mantidas:

5.8.1 Eliminar fontes de contaminação: os ambientes de produção dos componentes, montagem e teste dos cilindros hidráulicos devem ter o melhor nível de limpeza possível, e estejam isolados para evitar poeira. O ar deve estar limpo.

Respingos de solda podem ser minimizados com o melhor ajuste possível dos processos de soldagem MAG (CO₂) e arco submerso, interferindo nas variações de voltagem, no gás utilizado (misturando argônio ao CO₂), e automatizando os processos para evitar variações no comprimento do arco elétrico.

Vedações, anéis raspadores da haste, de boa qualidade devem se utilizadas para minimizar a entrada de partículas sólidas ou líquidos no cilindro hidráulico.

Água é uma grande geradora de contaminação em óleo, por ser catalisadora no processo de formação de óxidos de ferro. Devem também ser considerados nos componentes dos cilindros restos de areia de fundição, cavacos de usinagem, etc.

5.8.2 Manter um bom nível de limpeza do óleo do banco de testes: o óleo deve possuir, no mínimo, classificação NAS 9 , que é equivalente à ISO 20/18/15. Para se conseguir isto, filtros com a menor malha possível devem ser mantidos nos bancos de testes; existem no mercado filtros com malha de até 3 micrometros (Tecnologia Hidráulica Industrial, 1999). Também devem ser observadas as medidas indicadas no item 3.3.2.

5.8.3 Realizar controle de contaminação dos cilindros hidráulicos: a classe de limpeza do cilindro e as maiores partículas devem ser determinadas imediatamente antes da montagem e dos testes. Os parâmetros de controle das análises realizadas no Laboratório de Controle de Contaminação devem ser estabelecidos com cada cliente, considerando o procedimento do Boletim Técnico Soprano, e a aplicação do cilindro hidráulico. Desta forma a qualidade do produto é melhorada em duas dimensões da Qualidade Total: em relação à segurança do produto, pois o cliente saberá o nível de contaminação do cilindro hidráulico, e terá um certificado da adequação do produto à sua aplicação; e em relação à qualidade em si do produto, pois com os resultados das análises será possível localizar fontes de contaminação e adotar ações corretivas para eliminá-las durante o processo de fabricação dos cilindros hidráulicos.

6.0 CONCLUSÕES

- o “benchmarking” realizado serviu para agilizar o processo de implantação do Laboratório de Controle de Contaminação na Soprano – Unidade Equipamentos Hidráulicos. Partindo da área física disponibilizada, o laboratório foi implantado em um período de cinco meses.
- o Laboratório de Controle de Contaminação possui os equipamentos e a metodologia adequados para a execução de ensaios visando ao controle de contaminação nos cilindros hidráulicos produzidos na Unidade Hidráulica. No entanto, para que seja possível o início das atividades do laboratório no controle de qualidade, ainda é necessário reduzir as fontes de erro, estabilizando temperatura e umidade, e aplicando pressão positiva na sala do laboratório.
- para a melhoria da qualidade dos cilindros hidráulicos produzidos na UH, três condições devem ser mantidas: atuação contínua na eliminação das fontes de contaminação, manutenção de um bom nível de limpeza do óleo do banco de testes, e a realização do controle de contaminação dos cilindros.

7.0 TRABALHOS FUTUROS

- minimizar fontes de erro dos ensaios;
- determinar as causas da contaminação, considerando os processos de fabricação dos cilindros hidráulicos;
- atuar nas causas da contaminação.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FALCONI, V. C. **TQC CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL (NO ESTILO JAPONÊS)**. 2 ed. Editora EDG, 1999.

Manual de Filtragem Hidráulica. Parker Filtration, HTM-2 BR.

Manual de Hidráulica Industrial. Sperry Vickers. 6 ed., 1980.

Tecnologia Hidráulica Industrial. Disponível em <<http://www.parker.com>>. Parker Training, apostila M2001-1 BR, 1999.

Website Soprano. <<http://www.soprano.com.br>> Acesso em 15 Mai. 2005.

ANEXO A

	BOLETIM TÉCNICO 77	Rev: -	Nº 0077
---	---------------------------	---------------	----------------

TÍTULO: Gravimetria e Medição de Partículas via Microscopia Ótica.

APLICAÇÃO: ensaios de controle de contaminação para os cilindros hidráulicos cujos desenhos e/ou Roteiro de Fabricação especificar o nível de contaminação aceitável.

1. CONDIÇÕES PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO

Especificar temperatura e umidade relativa do ar desejável no momento da realização dos ensaios. Também, especificar equipamentos e produtos a serem utilizados no ensaio e os detalhes de limpeza e preparação do laboratório e equipamentos.

2. REALIZAÇÃO DO ENSAIO

2.1 Ligar a estufa e ajustar a temperatura para 70 ± 5 °C. **ATENÇÃO:** o “dial” de regulagem de temperatura deve estar no valor mínimo antes de ligar a estufa.

2.2 Utilizando uma pinça, colocar um filtro na estufa a 70 ± 5 °C, durante 30 minutos. O filtro deve ser manipulado somente com a pinça.

2.3 Preparar o solvente em uma pisseta (com o exaustor ligado).

2.4 Colocar o filtro no dessecador por 30 minutos.

2.5 Retirar o filtro do dessecador, e imediatamente pesá-lo na balança analítica. Registrar com precisão de quatro casas decimais.

2.6 Montar o equipamento de filtragem dentro da capela, instalar o filtro.

2.7 Utilizando uma pisseta, lavar o componente do cilindro hidráulico a ser analisado com o solvente. Fazer isto de forma a não permitir respingos, coletando todo o líquido no recipiente coletor.

2.8 Filtrar a solução conectando a bomba de vácuo no equipamento de filtragem. **ATENÇÃO:** a bomba de vácuo não deve funcionar por um período superior a quatro minutos.

2.9 Enxaguar o recipiente coletor com solvente, e filtrar esta solução.

2.10 Sem desligar a bomba de vácuo, remover o bocal de vidro e limpá-lo com solvente, fazendo com que esta solução também seja filtrada. Permitir que a bomba de vácuo funcione por mais 10 segundos.

2.11 Secar o filtro na estufa a 70 ± 5 °C durante 30 minutos. ATENÇÃO. Ao transportar o filtro deve-se ter o cuidado de não perder parte do contaminante coletado sobre o mesmo.

2.12 Colocar o filtro no dessecador por 30 minutos. ATENÇÃO: Ao transportar o filtro deve-se ter o cuidado de não perder parte do contaminante coletado sobre o mesmo.

2.13 Pesar novamente o filtro, registrando o resultado com precisão de quatro casas decimais. ATENÇÃO. Ao transportar o filtro deve-se ter o cuidado de não perder parte do contaminante coletado sobre o mesmo.

2.14 Com o filtro no microscópio, focalizar imagem com baixo aumento, procurando pela maior partícula.

2.15 Ajustar o foco para o maior aumento possível, contar o número de divisões que a partícula preenche, registrando o “zoom” utilizado e o número de divisões.

3. CÁLCULOS

3.1 **Nível de contaminação:** aplicar a fórmula

$$C = (M_f - M_i) \div A$$

onde **C** é o nível de contaminação da peça, em mg/m^2 ;

M_f é a massa do filtro após filtragem, em mg;

M_i é a massa inicial do filtro, em mg;

A é a área do componente que foi lavado com o solvente, em m^2 (precisão de três casas decimais).

Determinar a classe de limpeza com auxílio da Tabela 1.

3.2 **Medição de partículas:** aplicar a fórmula

$$T = N \times F$$

onde **T** é o tamanho da partícula, em micrometros;

N é o número de divisões da ocular preenchidas pela partícula medida;

F é o fator correspondente ao aumento, encontrado na Tabela 2.

4. REPETIBILIDADE

A cada dez componentes ensaiados, um deve ser analisado novamente repetindo-se os itens 2.1 a 2.13. Desta forma, é possível verificar a eficácia na remoção de contaminantes. O nível de contaminação obtido no segundo ensaio (C_2 , em mg/m^2) dividido pelo primeiro (C_1 ,

em mg/m^2) deve ser menor do que 0,1 ; caso contrário, o ensaio não é válido. Uma lavagem mais completa é necessária.

Tabela 1. Classes de limpeza.


Classe de limpeza	<i>C</i> Mínimo (mg/m^2)	<i>C</i> Máximo (mg/m^2)
15	4440	7030
14	2800	4440
13	1770	2800
12	1110	1770
11	703	1110
10	444	703
9	280	444
8	177	280
7	111	177
6	70	111
5	44	70
4	28	44
3	17	28
2	11	17
1	0	11

Tabela 2. Fatores de calibração para o microscópio.

Zoom	Fator
0,7	75
1	54
1,5	34
2	24
2,5	20
3	17
3,5	14
4	13
4,5	11,5

Data de revisão: -	Elaborado por: Data:	Aprovado por: Data:
---------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------

ANEXO B

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO		Nº 0075/UH	DATA EMISSÃO 04/07/2005
ÁREA: LABORATÓRIO CONTROLE CONTAMINAÇÃO				
OPERAÇÃO: MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS				
ITEM	CUIDADOS NECESSÁRIOS			
BALANÇA ANALÍTICA	<p>- <u>Pré-aquecimento</u>: a balança deve ser ligada na tomada por quatro horas, antes de ser utilizada; isto deve ser feito no modo “stand-by”. A fonte de alimentação não deve ser desligada da tomada, a não ser que a balança não seja utilizada por um período superior a um mês.</p> <p>- <u>Condições de pesagem</u>: A temperatura deve ser de 20 ± 2 °C . A umidade relativa do ar deve estar entre 45% e 60%; caso contrário, a calibração da balança é perdida em poucos dias.</p> <p>- <u>Transporte</u>: para transportar a balança, mesmo por alguns centímetros, deve-se antes desconectar o plugue da tomada. Se a balança for transportada para outro ambiente, sendo submetida a vibrações, deve ser re-calibrada.</p> <p>- <u>Calibração</u>: a balança deve ser calibrada sempre que for submetida a significativas variações de temperatura, ou quando sofrer vibrações. O intervalo de calibração deve ser observado.</p> <p>- <u>Limpeza</u>: utilizar um pano levemente embebido em detergente neutro. O prato da balança deve ser removido e lavado com água, e estar bem seco antes de ser colocado na balança.</p>			
ESTUFA DE SECAGEM	<p>- <u>Modo de ligar</u>: a temperatura da estufa deve estar no valor mínimo antes de se ligar a chave geral.</p> <p>- <u>Limpeza</u>: antes de limpá-la, desconectar o plugue da tomada. Utilizar um pano levemente embebido com detergente neutro. Nunca utilizar álcool, ou outros líquidos inflamáveis</p>			
CAPELA DE EXAUSTÃO	<p>- <u>Limpeza</u>: utilizar um pano levemente embebido com detergente neutro.</p>			
BOMBA DE VÁCUO	<p>- <u>Válvula</u>: a bomba possui uma válvula que deve ser aberta por alguns segundos, antes de cada ensaio, imediatamente após ligada.</p> <p>- <u>Óleo</u>: deve ser trocado a cada 600 ensaios realizados, ou quando se perceber através do visor da bomba que está sujo.</p>			
MICROSCÓPIO	<p>- <u>Limpeza</u>: quando não estiver sendo utilizado, deve ser desligado da tomada e coberto com a capa protetora. As lentes não devem ser tocadas. Remover a poeira do aparelho com um espanador. Para remoção de sujeira, utilizar pano macio umedecido com álcool.</p> <p>- <u>Umidade</u>: as lentes do microscópio devem ser protegidas da umidade.</p>			
MODIFICAÇÃO	DISTRIBUIÇÃO		ELABORAÇÃO	APROVAÇÃO
	SETOR	CÓPIA	ENG. QUALIDADE	ENG. QUALIDADE
			/ /	/ /

ANEXO C

 SOPRANO EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS	RELATÓRIO – ENSAIOS PARA CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO	Nº Folha 1 de 1
--	--	--------------------

Fornecedor: Soprano – Unidade Equipamentos Hidráulicos	
Produto:	Código Soprano:
Procedimento das análises: conforme Boletim Técnico 77	Data dos ensaios:

DADOS

Solvente	
Volume de solvente utilizado na lavagem (ml)	
Região analisada	
Acessórios utilizados (pincel, esferas, etc.)	
Temperatura durante ensaio	
Umidade relativa durante ensaio	
Área analisada (m ²)	
Peso do filtro antes do ensaio (mg)	
Peso do filtro após ensaio (mg)	
Classe de limpeza especificada (mg/m ²)	
Maior tamanho de partícula especificado (micrometros)	

RESULTADOS

Massa de contaminantes (mg)	
Nível de contaminação (mg/m ²)	
Classe de limpeza	
Tamanho da maior partícula (micrometros)	
O componente atende a especificação de limpeza?	
O componente atende a especificação da maior partícula permissível?	