
Projeto de Instalações de Desidratação de Lodo com a Utilização de Filtros Prensa de Placas.

ENG^a TEREZA CRISTINA LAMPOGLIA (1)
ENG^o PEDRO GOMES DE LYRA (1)
ENG^o LUIZ BENONI MANZOCHI (2)

1. INTRODUÇÃO

Nos processos convencionais de tratamento de esgotos faz-se a remoção dos sólidos através de operações de decantação ou de flotação, gerando o lodo.

Quando extraído de um decantador ou de um flotador, o lodo apresenta-se bastante fluido, geralmente com um teor de umidade de aproximadamente 99%.

Antes de ser submetido às fases seguintes de tratamento e/ou disposição final, o lodo bruto é, na maioria dos casos, adensado, de modo a que, diminuído o seu volume, sejam reduzidos os custos de capital e de operação e manutenção.

Nas unidades de adensamento, por gravidade ou por flotação, o lodo anteriormente com um teor de umidade de 99%, tem esse teor baixado para cerca de 95%, reduzindo assim o seu volume para 1/5 do inicial.

O lodo assim adensado apresenta-se ainda sob forma fluída podendo ser facilmente submetido a processos de tratamento como digestão, estabilização química, etc.

Tratado ou não, o lodo adensado deve, antes da disposição final ter o seu volume ainda mais reduzido, pelas razões de custo já citadas.

Desidratação é o processo de remoção de água do lodo, pelo qual se obtém uma redução de volume maior do que a conseguida pelo adensamento.

A desidratação de um lodo que aumenta de 5% para 20% a concentração de sólidos, reduz o seu volume para 1/4 do inicial. O produto resultante é um material não fluido.

Assim, considerando-se os graus de adensamento e desidratação acima mencionados, o volume final de lodo corresponde a 1/20 do inicialmente gerado nas unidades de remoção de sólidos.

A desidratação do lodo pode ser feita utilizando-se processos naturais (capilaridade, gravidade, evaporação), como nas lagoas de lodo e leitos de secagem, ou através de meios mecânicos.

2. EQUIPAMENTOS MECÂNICOS PARA DESIDRATAÇÃO DO LODO

Os equipamentos mecânicos mais freqüentemente utilizados para a desidratação de lodos provenientes de estações de tratamento de esgotos sanitários são:

- centrífugas;
- filtros a vácuo;
- filtros-prensa de cinto;
- filtros-prensa de placas.

2.1. CENTRÍFUGAS

Este equipamentos promovem a separação dos sólidos por centrifugação, em operação contínua.

A operação das centrífugas é simples, limpa, e de custo relativamente baixo. Cuidados especiais devem ser tomados com relação às vibrações e ruídos produzidos na operação do equipamento.

Na maioria dos casos o efluente líquido das centrífugas carrega grandes quantidades de sólidos finos não sedimentáveis. Estes sólidos, quando retornados ao princípio do processo, podem prejudicar a eficiência das unidades de decantação. Uma das maneiras de contornar o problema é com a adição de produtos químicos condicionantes, aumentando a captura de sólidos na centrífuga.

As centrífugas permitem a obtenção de um lodo com teor de umidade de até 70%.

A Ilustração 2.1 mostra um esquema simplificado do equipamento.

2.2. FILTROS A VÁCUO

Este tipo de equipamento, de operação contínua, promove a desidrata-

1) Engenheiros do Departamento de Saneamento da HIDROSERVICE — Engenharia de Projetos Ltda.

2) Chefe do Departamento de Saneamento da HIDROSERVICE — Engenharia de Projetos Ltda.

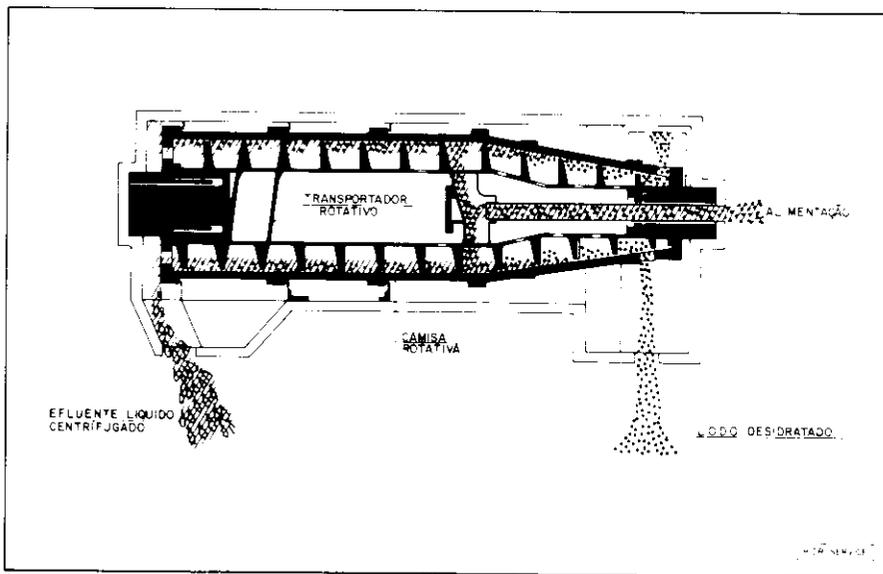


Ilustração 2.1 – Esquema de Centrífuga com camisa sólida.

- O equipamento é de operação contínua, e apresenta baixo consumo de energia.
- A torta produzida pode alcançar um teor de umidade de até 60%.
- Estes equipamentos apresentam-se em unidades com capacidades menores que os demais tipos.

A Ilustração 2.2 apresenta o esquema de funcionamento de um filtro de cinto.

2.4. FILTROS-PRENSA DE PLACAS

As características gerais dos filtros-prensa de placas, e os aspectos referentes ao projeto de uma instalação de desidratação de lodo com a utilização desse equipamento, são abordados nos itens a seguir.

ção de lodo através da diferença de pressão entre duas faces de um meio filtrante.

O meio filtrante é constituído de um tecido, natural ou sintético, que envolve um tambor. O tambor gira lentamente, tendo a parte inferior de sua superfície externa em contacto com o lodo. É feito vácuo parcial no interior do cilindro, o que provoca a passagem do líquido, através do meio filtrante, ficando o lodo desidratado aderente à superfície externa do cilindro, de onde é removido.

A Ilustração 2.2 mostra um esquema simplificado de um filtro a vácuo.

O equipamento é de fácil manutenção, proporciona um filtrado com baixa concentração de sólidos, e permite a obtenção de uma torta com teor de umidade de até 70%, aproximadamente.

Os filtros a vácuo apresentam, normalmente, maior consumo de energia por unidade de lodo desidratado, que os demais equipamentos. Precauções devem ser tomadas em relação aos ruídos causados pela operação dos equipamentos auxiliares (bombas de vácuo).

2.3. FILTROS-PRENSA DE CINTO

O princípio geral de funcionamento desse equipamento é o seguinte:

- O lodo é introduzido entre duas correias (uma das quais constitui o meio filtrante) que se deslocam por entre roletes, os quais promovem a compressão de uma correia sobre a outra, fazendo com que o líquido deixe o lodo através do meio filtrante.

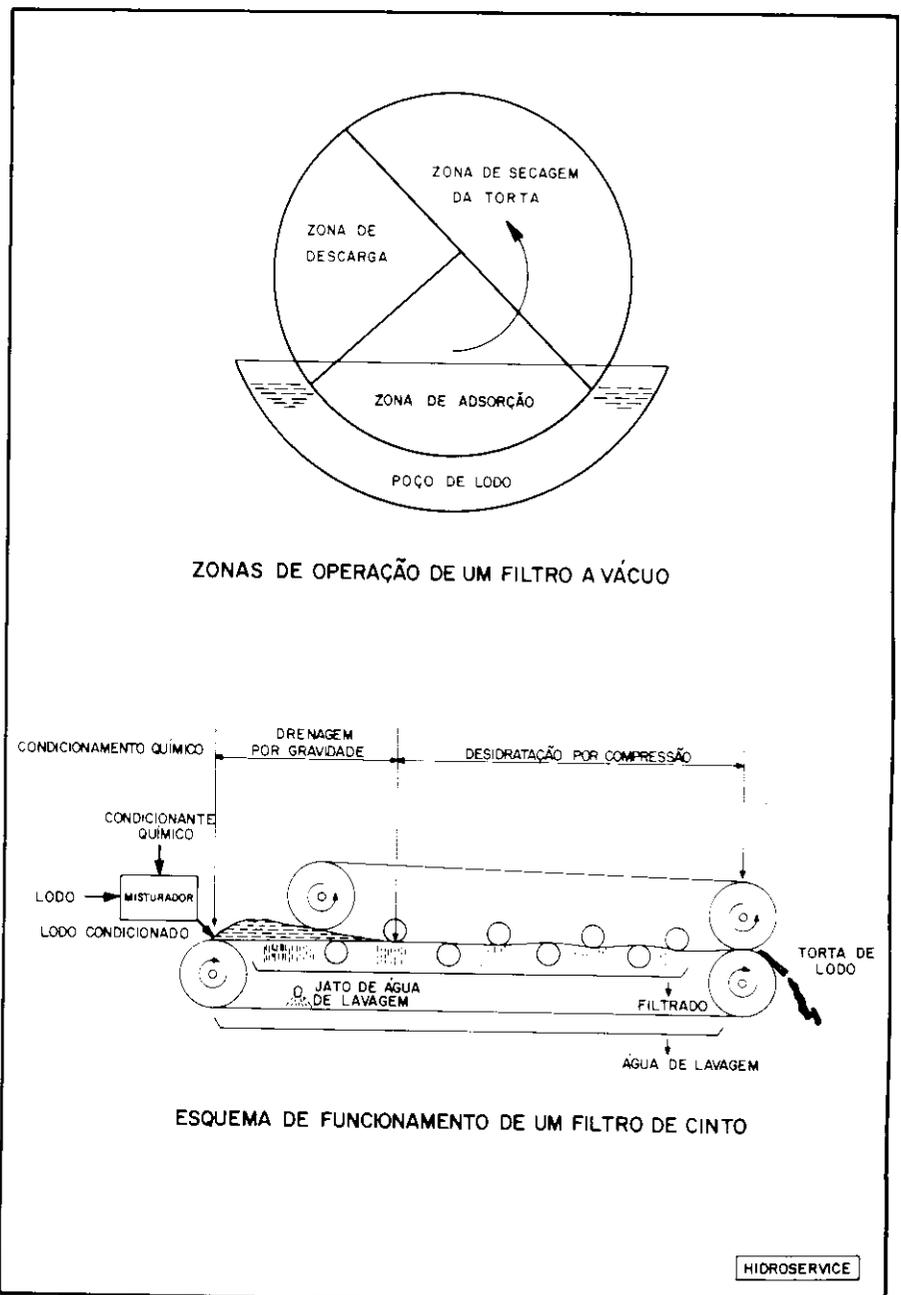


Ilustração 2.2 – Filtro de cinto e Filtro a vácuo.

3. FILTROS-PRENSA DE PLACAS

3.1. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

O filtro-prensa de placas é constituído por uma série de placas verticais, mantidas unidas na fase de processamento da desidratação, e separadas na fase de descarga da torta produzida. (Ver Ilustrações n.ºs 3.1 e 3.2).

O filtro-prensa de placas opera em regime de bateladas.

As placas são mais espessas nas bordas do que nas partes centrais, formando-se assim recessos em ambas as suas faces. Esses recessos constituem o "volume" do filtro, onde se aglutina o material que constitui a torta.

O tecido filtrante é assentado sobre as duas faces da placa.

As superfícies dos dois lados da placa apresentam ranhuras que permitem o escoamento do filtrado.

Na operação de filtragem, as placas são mantidas unidas, face a face. O lodo previamente condicionado é bombeado para o interior do filtro-prensa, e, através de orifícios de alimentação, é introduzido entre as placas. A pressão força o líquido a passar pelo meio filtrante, ficando os sólidos retidos entre as placas. O filtrado é coletado pelas ranhuras das placas e conduzido, através de dutos, para fora do filtro.

À medida em que as tortas de lodo se formam no interior das câmaras, a pressão de alimentação aumenta gradativamente, até alcançar um valor que torna contraproducente prosseguir no processo.

A injeção é então paralisada e pode-se iniciar a operação de descarga das tortas formadas.

A descarga das tortas é feita separando-se as placas uma a uma. Com a separação, as tortas deslocam-se para baixo, por gravidade, sendo coletadas por dispositivos mecânicos que as conduzem para silos, de onde são retiradas para receber a destinação final.

Em geral os filtros-prensa são projetados para operar à pressão de 7 ou 15 bar (100 ou 225 psi).

A pressão de operação do filtro-prensa deve ser fixada em função do tipo de lodo a ser desidratado, bem como do teor de sólidos desejado para a torta.

Assim, considerando-se a mesma duração de ciclo, o teor de sólidos da torta produzida por um filtro-prensa operando a 15 bar deverá ser superior àquele produzido por um filtro com pressão de operação de 7 bar.

O espaço formado pela depressão de duas placas adjacentes determinará

a espessura da torta. A espessura deverá ser fixada em função do tipo de lodo a ser desidratado. Assim, para lodos que apresentam boa filtrabilidade, são usadas espessuras de 40 ou até 50 mm.

3.2. TIPOS DE FILTROS-PRENSAS DE PLACAS

Existem basicamente dois tipos de filtros-prensa de placas:

- Filtros-prensa com estrutura lateral (Sidebar frame), nos quais as placas são sustentadas por vigas laterais.

- Filtros-prensa com estrutura superior, (overhead frame), onde as placas são suspensas por uma viga situada na parte superior do equipamento.

A Ilustração 3.3 mostra um esquema dos dois tipos de filtros-prensa de placas.

Ambos os tipos têm sido amplamente utilizados tanto na Europa como nos Estados Unidos, e são produzidos pela maioria dos fabricantes.

Analisando os dois tipos de filtros verificam-se os seguintes pormenores:

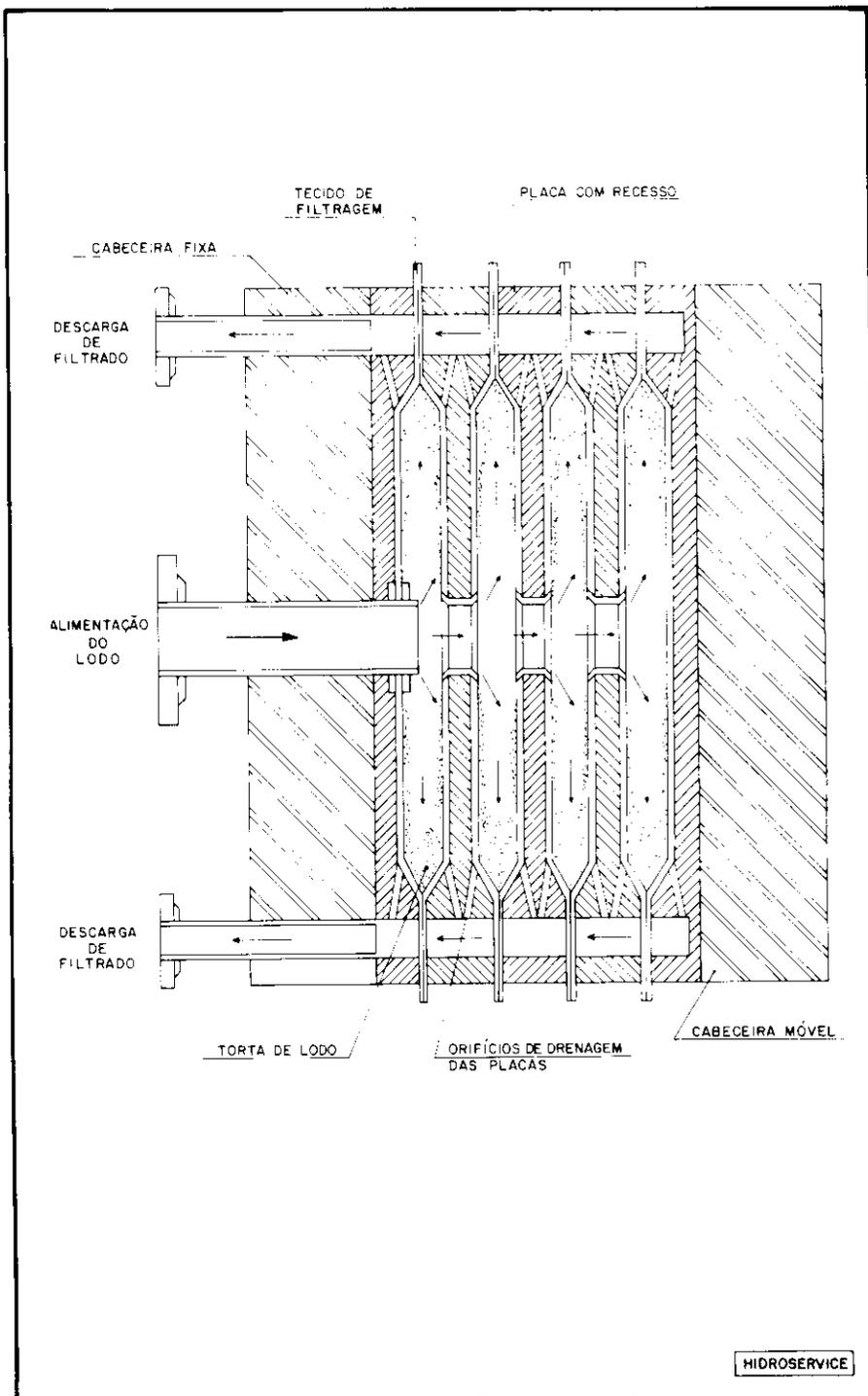


Ilustração 3.1 – FILTRO PRENSA – Esquema de Alimentação de Lodo e Descarga de Filtrado.

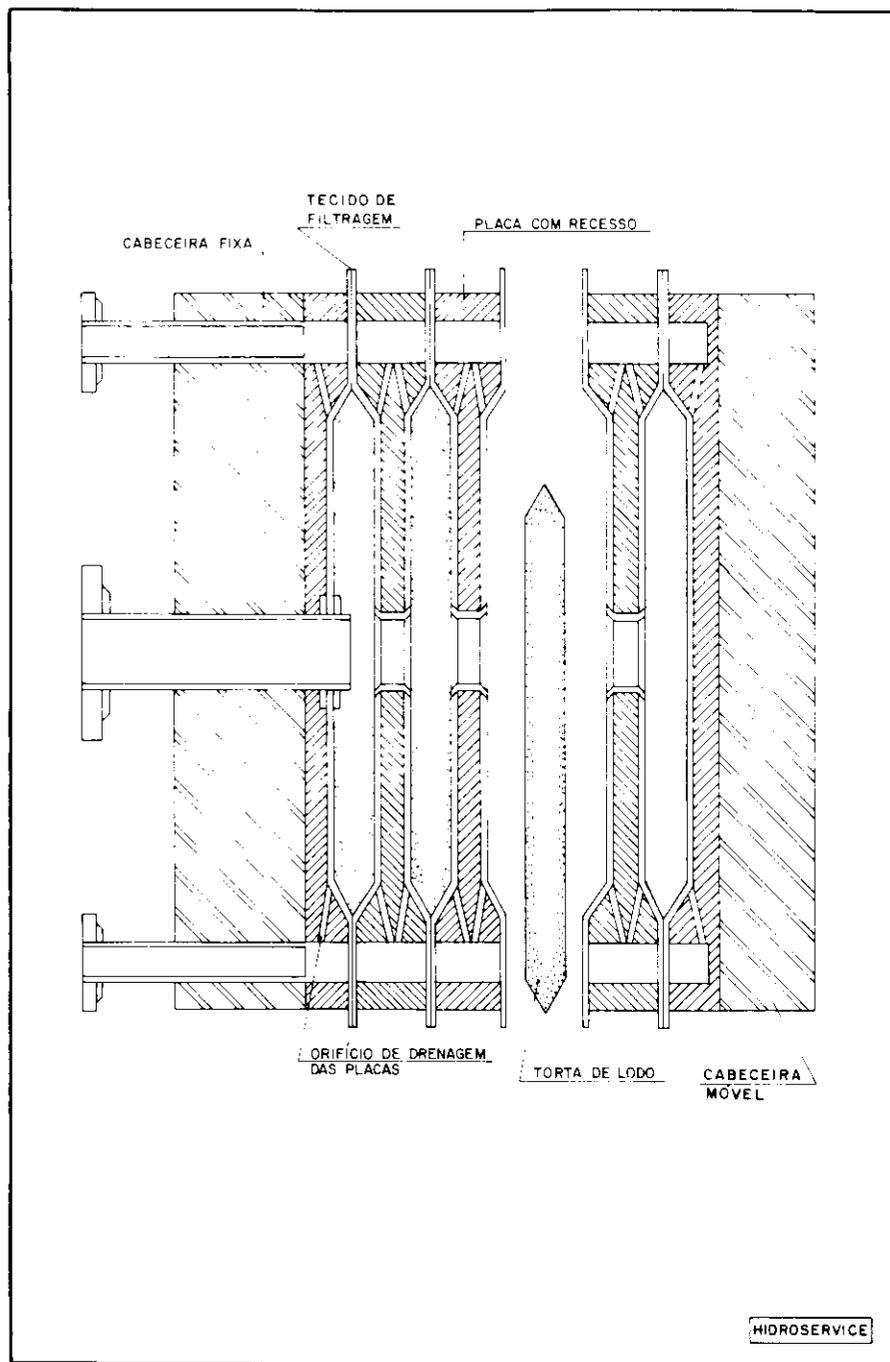


Ilustração 3.2 – Filtro Prensa – Esquema da operação da descarga da torta.

● Mecanismo de Movimentação das Placas

Nos filtros com viga superior os mecanismos para deslocamento das placas situam-se na parte superior, pelo que apresentam as seguintes vantagens: não há possibilidade de contato do mecanismo com a torta que está sendo descarregada; as placas são movimentadas através de um único ponto, o que impossibilita o desalinhamento que poderia ocorrer com uma estrutura lateral, uma vez que as placas seriam deslocadas através de dois pontos.

● Manutenção

Sendo os filtros com viga superior

completamente abertos nas laterais, isto facilita a observação visual, não criando dificuldade para eventual remoção manual da torta. Pelo contrário, a estrutura com viga lateral dificulta o acesso para remoção manual da torta e cria obstáculos à observação visual que é instrumento valioso para o controle da descarga da torta e verificação do estado da manutenção dos tecidos.

● Remoção das Placas

No caso de filtros com vigas laterais a remoção das placas é feita por cima utilizando-se um conjunto de talha e ponte rolante. A estrutura com viga superior exige, além da talha

e ponte rolante, o concurso de um equipamento especial para remover horizontalmente as placas.

● Lavadores Automáticos

Nos filtros de estrutura lateral o lavador automático é montado acima das placas e no caso de instalações com vários filtros, o lavador automático é facilmente transferido de um filtro para outro com o uso da ponte rolante. No caso de filtros com estrutura superior, o lavador deve ser montado acima das placas na viga superior, o que dificulta sua movimentação de um filtro para outro.

3.3. TIPOS DE PLACAS

No tocante aos materiais usados para a fabricação das placas há 4 tipos a considerar: polipropileno, aço carbono revestido com borracha, ferro fundido e ferro dúctil.

As placas de polipropileno apresentam como vantagens principais o pequeno peso e a elevada resistência à corrosão. Este tipo de material tem sido usado para placas quadradas de até 1,50 m x 1,50 m recomendando, no entanto, a maioria dos fornecedores, o seu uso para placas de 1,20 m x 1,20 no máximo, em razão de sua baixa resistência mecânica. Em face à crise de petróleo este tipo de placa já não apresenta as vantagens de outrora, no que diz respeito ao seu custo.

As placas de aço carbono, revestidas com borracha, são muito usadas na Inglaterra, país que lhes deu origem e que até hoje desfruta da exclusividade de sua fabricação.

Elas apresentam, em relação às placas de ferro fundido, a vantagem de serem mais leves e mais baratas.

A experiência norte-americana não tem sido bem sucedida com este tipo de placas importadas da Inglaterra, devido ao aparecimento de fissuras na borracha de revestimento. Nestas condições, o aço é exposto através das fendas e ao contato com a água, com o tempo, a corrosão se intensifica, culminando com a completa inutilização da placa. São causas responsáveis pela ocorrência de tal problema as grandes variações de temperatura a que ficam sujeitas as placas durante o período de armazenamento antes do embarque, bem como durante o seu transporte por barco. Na expectativa de solucionar este problema, alguns fornecedores decidiram usar um novo tipo de borracha; no entanto ainda não houve tempo suficiente para se chegar a uma conclusão quanto ao novo tipo de revestimento.

O ferro fundido foi outrora um material muito comum para fabricação de placas, porém com o advento do ferro dúctil tem sido recentemente cada vez menos utilizado.

O ferro dúctil é, sem dúvida, o material de utilização mais comum no caso de instalações de grande porte. Dos motivos que justificam a sua preferência ressaltam-se os seguintes: resistência ao elevado pH do lodo condicionado; resistência ao baixo pH da solução de HCl utilizada na lavagem ácida do filtro; excelentes características mecânicas; menos peso que as placas de ferro fundido e vida útil igual à das outras partes do filtro.

3.4. TECIDOS DE FILTRAGEM

Na desidratação de lodo de esgo-

to, os tecidos de filtragem mais comumente usados para revestimentos das placas, são os de fibras orgânicas sintéticas, tais como nylon e polipropileno. Em alguns casos, entre o tecido de filtragem e a placa é colocado um tecido mais grosso, que melhora a distribuição de pressão na área de filtração, facilitando a descarga de filtrado e permitindo uma lavagem mais eficiente.

Na seleção de um tecido de filtragem, o tipo de fibra também é um fator importante. Para lodo de esgoto tem sido preferido o uso de tecido monofilamentar, uma vez que a experiência mostra que o tecido multifilamentar sofre entupimento mais facilmente, é mais difícil de limpar e não promove boa liberação da torta.

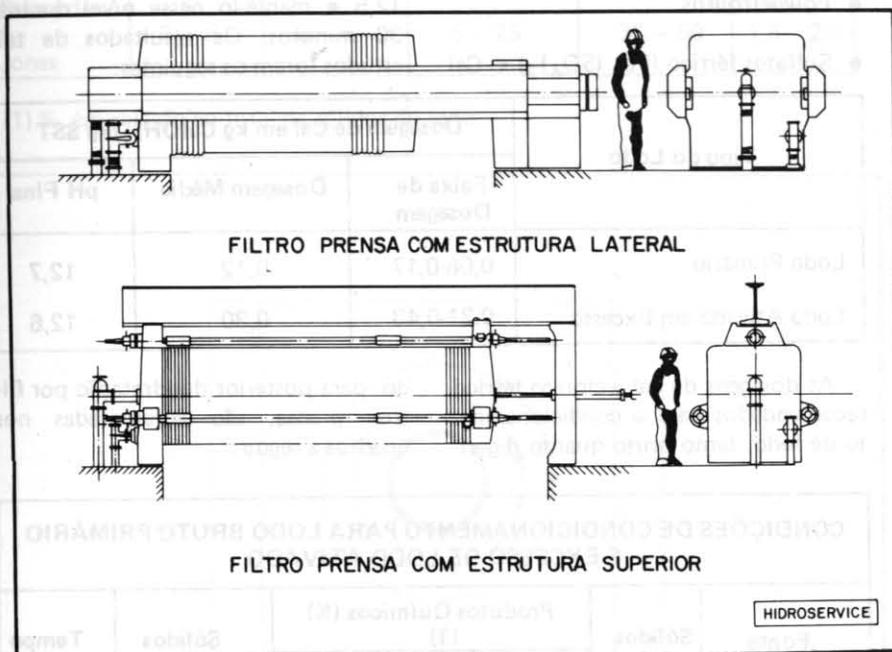


Ilustração 3.3 - Esquema de Filros Prensa com Estrutura Lateral (Sidebar Frame) e com Estrutura Superior (Overhead Frame).

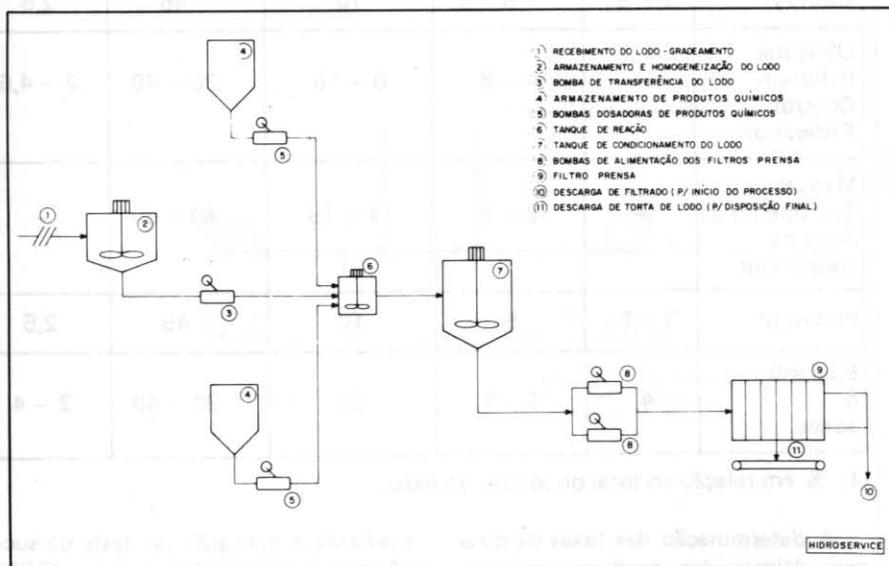


Ilustração 4.1 - Instalação para desidratação de lodo por filtro prensa - Fluxograma simplificado.

4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROCESSO

4.1. SISTEMAS COMPONENTES

Um esquema típico de desidratação do lodo por filtros prensa é mostrado no fluxograma simplificado da Ilustração 4.1.

Os sistemas envolvidos no processo podem ser divididos em:

- Sistema de recebimento e armazenamento de lodo.
- Sistema de transferência do lodo.
- Sistema de preparação e dosagem de produtos químicos.
- Sistema de condicionamento do lodo.
- Sistema de alimentação do filtro prensa.
- Sistema de filtração e compressão do lodo.
- Sistema de transporte da torta.
- Sistema de lavagem dos tecidos.

4.2. SISTEMA DE RECEBIMENTO E ARMAZENAMENTO DO LODO

As vazões de esgoto, tanto quanto a produção de lodo, sofrem flutuações cíclicas, em função de fatores tais como: mudanças sazonais, precipitações, mudança do programa operacional das indústrias, etc.

O armazenamento do lodo, antes de ser desidratado, permite um funcionamento mais uniforme dessas instalações, bem como o seu funcionamento durante um período fixo diário ou semanal.

Além disso, no caso de desidratação de lodo bruto, o armazenamento permite uma mistura dos lodos primário e ativado em proporções adequadas à desidratação.

Os tanques de armazenamento devem ser dotados de misturadores que, no caso de combinação de lodos primários e ativado, proporcionem uma homogeneização da mistura, e no caso de lodo digerido, sirva para manter homogêneo o conteúdo do tanque, propiciando uma dosagem constante dos produtos químicos requeridos para o condicionamento.

Os tanques de armazenamento devem ser providos de tomadas para retirada de sobrenadante, localizadas em diferentes níveis, de modo que se possa descarregar qualquer sobrenadante que se forme durante períodos de armazenamento. Este adensamento ocorre particularmente quando se opera com lodo digerido ou lodo cru retirado diretamente dos poços dos decantadores.

Os tanques devem ser cobertos, devido à possibilidade de ocorrência de maus odores.

Para minimizar o odor, deve-se limitar o tempo de armazenamento do lodo.

Assim, no caso de instalações de desidratação que não funcionem continuamente, a operação deverá ser iniciada pela manhã com o lodo armazenado durante a noite.

A experiência de diversas instalações de secagem de lodo mostra que, mesmo havendo equipamento para remoção de material gradeável a montante dessas instalações, há ainda possibilidade de arrastamento com o lodo de certos materiais fibrosos (fios, trapos, etc.) que causarão problemas às bombas, misturadores e aos equipamentos de secagem. Desta forma, o gradeamento do lodo, antes de ser desidratado, tem sido amplamente recomendado como sendo uma proteção de baixo custo para equipamentos muito mais caros.

4.3. SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DO LODO

O sistema de transferência do lodo compreende bombas e tubulações para o transporte de lodo desde os tanques de armazenamento até os tanques de condicionamento.

Tanto as bombas de pistão como as de cavidade progressiva são utilizadas para o recalque de lodo. No entanto, como as bombas de pistão são mais robustas e envolvem muito menos manutenção, estas tem sido mais empregadas, embora apresentem maior custo.

No caso de uma instalação para desidratação de lodo bruto e lodo digerido, deverão ser projetados sistemas independentes de armazenamento e transferência, uma vez que não é conveniente a desidratação dos dois tipos de lodo combinados.

As bombas de transferência são normalmente equipadas com variadores de velocidade para controle da vazão de lodo.

4.4. SISTEMA DE PREPARAÇÃO E DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS

4.4.1. Produtos Químicos Condicionantes

O condicionamento químico do lodo digerido objetiva, mediante a aplicação de produtos químicos, melhorar as características de filtração do lodo antes de sua desidratação. A

obtenção de um floco estável e resistente é de grande importância, uma vez que um floco fraco facilmente será destruído sob pressão, prejudicando o processo de desidratação.

Quanto ao lodo bruto, é desejável obter a sua estabilização química, ao lado do condicionamento prévio à desidratação, a fim de impedir o desenvolvimento de microorganismos geradores de odor, mediante a aplicação de um produto capaz de elevar o pH até 12,5 e mantê-lo nesse nível durante um intervalo mínimo de 0,5 a 2,0 h.

Dentre os condicionantes usados na desidratação podem ser citados:

- Cloreto férrico (FeCl_3) + Cal
- Sulfato ferroso (FeSO_4) + Cal
- Polieletrólitos
- Sulfatos férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) + Cal

O uso do sulfato férrico tem sido limitado em decorrência do elevado custo do produto.

No caso de polieletrólitos, o tipo a ser usado deve ser determinado por meio de ensaios com o lodo a ser desidratado.

A combinação de cloreto férrico e cal tem sido amplamente empregada para o condicionamento do lodo.

Além disso, no caso de lodo bruto, o uso do cal promove também a sua estabilização, desde que usada na quantidade requerida.

Em Lebanon, Ohio, a USEPA (United States Environmental Protection Agency) realizou estudos relativos à estabilização química do lodo pelo cal. Nesses estudos o cal foi adicionada ao lodo bruto em várias proporções com o objetivo de elevar o pH até 12,5 e mantê-lo nesse nível durante 30 minutos. Os resultados de tais estudos foram os seguintes:

Tipo do Lodo	Dosagem de Cal em $\text{kg Ca(OH)}_2/\text{kg SST}$		
	Faixa de Dosagem	Dosagem Média	pH Final
Lodo Primário	0,06-0,17	0,12	12,7
Lodo Ativado em Excesso	0,21-0,43	0,30	12,6

As dosagens de cal e cloreto férrico recomendados para o condicionamento de lodo, tanto bruto quanto digerido,

para posterior desidratação por filtros prensa, são apresentadas nos quadros a seguir:

CONDIÇÕES DE CONDICIONAMENTO PARA LODO BRUTO PRIMÁRIO E EXCESSO DE LODO ATIVADO					
Fonte	Sólidos (%)	Produtos Químicos (%) (1)		Sólidos na Torta (%)	Tempo de Ciclo (h)
		FeCl_3	CaO		
USEPA	3 - 6	5	10	45	2,5
US Water Pollution Control Federation	-	4 - 8	0 - 15	30 - 40	2 - 4,5
Manual de Tratamento da Água de Degremont	-	3 - 7	11 - 19	40 - 50	-
Passavant	3 - 6	5	10	45	2,5
Edwards & Jones	4	3 - 8	30	30 - 40	2 - 4

(1) % em relação ao total de sólidos do lodo.

A determinação das taxas de dosagem ótimas dos produtos químicos condicionantes poderá ser verificada

mediante a aplicação do teste de sucção por capilaridade do lodo, (TSC)

CONDIÇÕES DE CONDICIONAMENTO PARA LODO DIGERIDO ANAEROBICAMENTE					
Fonte	Sólidos (%)	Produtos Químicos (%) (1)		Sólidos na Torta (%)	Tempo de Ciclo (h)
		FeCl ₃	CaO		
USEPA	6 – 10	5	10	45	2,0
US Water Pollution Control Federation	–	6 – 10	5 – 15	35 – 45	2 – 4
Manual de Tratamento da Água de Degremont	–	4 – 7	11 – 22,5	35 – 50	–
Passavant	6 – 10	5	10	45	2,0
Edwards & Jones	3 – 6	3 – 6	5 – 25	35 – 50	1,5 – 2,0

(1) % em relação ao total de sólidos do lodo.

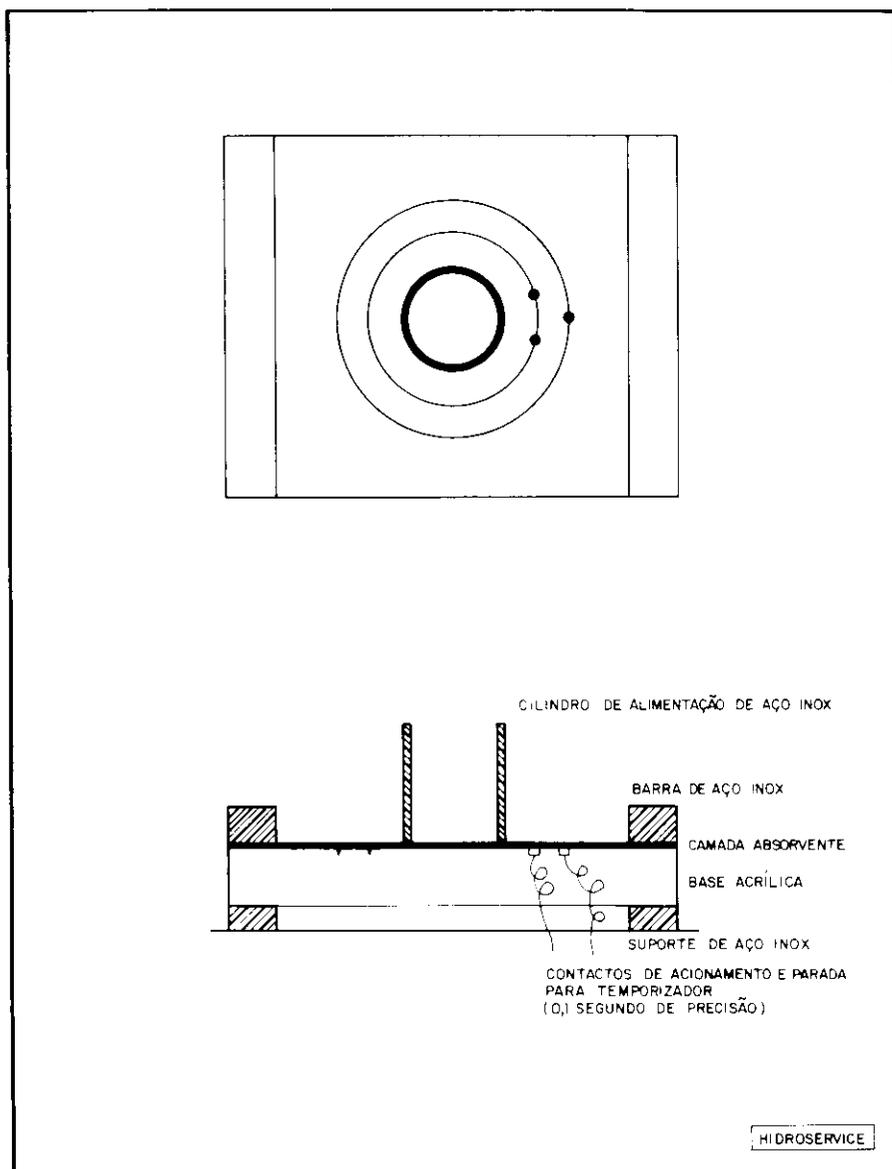


Ilustração 4.2 – Esquema de Aparelho para Determinação do TSC.

antes e depois do condicionamento, para várias taxas de dosagem.

A avaliação do comportamento do lodo face a filtração por pressão poderá ser feita mediante a aplicação do teste de resistencia específica do lodo, antes e depois do condicionamento.

A Ilustração 4.2 mostra um esquema do aparelho usado para a medição do TSC.

As tomadas para amostragem do lodo poderão estar localizadas na tubulação de sucção das bombas de alimentação dos filtros-prensa, junto aos tanques de condicionamento.

4.4.2. Aplicação de Cloreto Férrico

O cloreto férrico é normalmente entregue em solução e deve ser armazenado em tanques de material ou revestimento adequados, pois é altamente corrosivo.

Para melhor dispersão no lodo, o cloreto férrico normalmente é diluído (em linha), a uma concentração de aproximadamente 10%, antes de sua aplicação, a qual pode ser feita com a utilização de bombas dosadoras.

O volume de armazenamento deve ser fixado com base no consumo e nas condições locais de entrega do produto. Um armazenamento suficiente para 15 dias de consumo médio, é um valor razoável e atende possíveis falhas na frequência de entrega.

O cloreto férrico não é disponível comercialmente em grande escala no Brasil, devendo, entretanto, ser ampliada a sua produção, em função da crescente demanda do produto que vem se verificando.

4.4.3. Aplicação da Cal

A cal é geralmente armazenada em silos de grande capacidade, granulada, ou em pó, virgem ou hidratada.

O volume de armazenamento também deve ser fixado com base nos consumos médios e máximos, bem como nas condições locais de entrega.

Um volume de armazenamento suficiente para um consumo médio de 30 dias parece ser um valor adequado para atender à necessidade de pico de consumo, bem como prevenir eventuais falhas na entrega do material.

A aplicação da cal para o condicionamento é normalmente feita sob a forma de suspensão a 10% de CaO.

4.4.4. Aumento da Quantidade de Sólidos Devido ao Condicionamento Químico

Tendo em vista que parte dos produtos químicos aplicados para condicionamento são incorporados ao lodo sob a forma de sólidos, podem ser considerados os seguintes acréscimos no volume de torta:

Produto Químico Adicionado	Quantidade retida na torta (kg de sólidos/kg de produto químico aplicado)
Cloreto Férrico	0,50
Cal	0,80

4.4.5. Elutriação

É o processo mediante o qual o lodo digerido é lavado com água para reduzir sua alcalidade, antes da aplicação dos produtos químicos condicionantes. Dessa forma, reduz-se a demanda dos produtos necessários à reação com a alcalinidade do lodo.

Há, segundo alguns fornecedores de equipamentos, também uma melhoria da performance da desidratação devido à redução da alcalinidade e à eliminação dos sólidos finos do lodo, que saem com o efluente da elutriação (o elutriado).

A ocorrência de grande quantidade de sólidos finos verifica-se principalmente quando se processa o lodo ativado em excesso, quer separado ou combinado com o lodo primário. Em várias estações de tratamento primário onde se operava com sucesso a elutriação do lodo, foram constatados problemas após obras de ampliação transformando-as em instalações de tratamento secundário. Nesses casos o elutriado, com elevado teor de sólidos, era recirculado e descarregado na entrada da estação, interferindo com os demais processos e como resultado havia uma redução da eficiência global da estação. O aumento da captura de sólidos finos na elutriação, mediante a aplicação de um polímero, foi a solução encontrada para se contornar o problema no caso das estações em foco.

Para as condições atuais, no Brasil, a economia que se consegue com a redução da quantidade de cal e de cloreto férrico através da elutriação é sem dúvida inferior aos gastos com polímero, que é um produto importado de elevado custo.

4.5. SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DO LODO

4.5.1. Dispersão dos Produtos Químicos

Os produtos químicos aplicados de-

vem ser homogeneamente dispersos no lodo a ser condicionado.

No caso do uso de cal e sal de ferro, este deve ser aplicado antes do cal.

Os sistemas de dispersão mais utilizados são:

a) Dispersão "em linha"

Os produtos químicos são injetados no interior das canalizações que conduzem o lodo para os tanques de condicionamento. A dispersão é proporcionada por um "misturador estático", o qual é constituído por uma peça que, intercalada na tubulação, introduz no fluxo a turbulência necessária à homogeneização.

Este sistema pode causar alguns problemas de manutenção quando usado com lodo, em decorrência de entupimento.

b) Dispersão em tanques de reação

Neste caso a mistura se processa em tanques, nos quais os produtos químicos são adicionados ao lodo.

A homogeneização é promovida por misturadores mecanizados.

As paredes dos tanques e os equipamentos devem ser protegidos contra a ação corrosiva dos sais de ferro.

O tanque de reação deve apresentar um tempo de retenção de cerca de 2 a 3 minutos, período necessário para que haja uma perfeita homogeneização.

4.5.2. Tanques de Condicionamento

Após receber os produtos químicos e devidamente homogeneizado, o lodo é conduzido aos tanques de condicionamento, nos quais se processa a floculação do lodo, e a sua estabilização quando se tratar de lodo não digerido.

Os tanques devem ser providos de agitadores que assegurem a manutenção da homogeneidade do lodo durante a operação. A velocidade das pás dos agitadores não deve ser elevada de modo a não quebrar os flocos formados.

A capacidade dos tanques deve ser definida em função do tipo de operação:

a) Operação em bateladas

Neste caso os tanques operam de modo descontínuo.

Uma vez completada a alimentação de um tanque, fecha-se a válvula de entrada e aguarda-se o tempo necessá-

rio à floculação e/ou à estabilização química.

Tempos muito longos podem causar a "deterioração" dos flocos, tornando-os pegajosos, e dificultando a desidratação do lodo que se processará na fase seguinte.

No caso de lodo bruto, quando a adição de cal visar também a estabilização do lodo, o tempo de detenção deve ser de 30 minutos no mínimo, a fim de que se completem as reações químicas.

A capacidade dos tanques será função do volume a tratar e do tempo de detenção.

O número de tanques deve ser estabelecido levando em conta a capacidade dos filtros-prensa. Cada batelada deve ter um volume suficiente para alimentar um número inteiro de filtros-prensa.

Este sistema operacional leva a tanques de condicionamento de grandes capacidades e conseqüentemente a bombas de transferência e sistemas de dosagem e aplicação de produtos químicos também de maior parte. Assim é aplicável a instalações de porte pequeno ou médio.

b) Operação Contínua

Os tanques de condicionamento são alimentados continuamente, porém alimentam os filtros-prensas de forma descontínua, de conformidade com os ciclos operacionais destes equipamentos.

Assim, além de proporcionar o tempo de retenção adequado ao processo, os tanques devem também armazenar o volume de lodo que recebem no período em que não está ocorrendo bombeamento para os filtros-prensa.

O estabelecimento do volume dos tanques deve ser feito considerando-se:

- Capacidade das bombas do afluente;
- Tempo de retenção necessário;
- Capacidade e ciclos de operação das bombas do efluente que alimenta os filtros-prensa.

Um exemplo de dimensionamento de tanques de condicionamento para operação contínua é mostrado adiante, neste trabalho.

Os tanques de condicionamento, devem ser fechados para possibilitar o controle de odores. Particularmente nos casos em que se adiciona cal, ocorre liberação de grande quantidade de amônia. Nestes casos, além de fechados, os tanques devem ser pro-

vidos de ventilação e tubulações que conduzam os gases para o exterior.

Em cada caso deve ser estudada a conveniência e necessidade de se aplicar tratamento aos gases, para evitar maus odores nas áreas circunvizinhas.

4.6. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DOS FILTROS-PRENSA.

Após o condicionamento, o lodo é bombeado aos filtros-prensa.

O tempo necessário à desidratação relaciona-se não só às características do lodo, mas também aos equipamentos mecânicos envolvidos no processo. Estes devem ser dimensionados de forma a não causar prolongamento do ciclo de filtração por restrições mecânicas.

O sistema de alimentação deve ser dimensionado para que o período de enchimento de um filtro dure de 5 a 10 minutos.

O enchimento do filtro em período mais curto pode causar entupimento do meio filtrante. As bombas normalmente utilizadas nesse serviço são de pistão ou de pistão e diafragma, e de cavidade progressiva.

As características das bombas devem permitir o enchimento rápido do filtro-prensa na fase inicial, e alta pressão e vazão decrescente na fase de prensagem.

Alguns fabricantes de filtros-prensa sugerem o uso de duas bombas. Uma delas de alta vazão e baixa pressão, e a outra de vazão variável e alta pressão. No início do ciclo, para se obter um enchimento rápido, são ligadas as duas bombas. Quando inicia-se o aumento de pressão, a bomba de grande vazão é desligada prosseguindo em operação a bomba de alta pressão até encerrar-se a fase de prensagem.

Outros fabricantes recomendam o uso de uma única bomba, de alta pressão e vazão variável, tanto para o enchimento como para a prensagem.

O uso de uma só bomba evita a queda de pressão que ocorre no filtro, quando é desligada a bomba de enchimento.

4.7. SISTEMA DE FILTRAÇÃO E COMPRESSÃO DO LODO

Este sistema é constituído pelo próprio filtro-prensa e alguns equipamentos auxiliares.

Um ciclo de operação de um filtro-prensa compreende as seguintes fases distintas:

- Pré-enchimento.
- Filtração.

- Limpeza do núcleo.

- Descarga da torta.

Algumas instalações são projetadas para operarem sem as fases de pré-enchimento e limpeza do núcleo.

4.7.1. Pré-enchimento

É a operação que consiste em encher o filtro com um líquido, antes de nele se introduzir o lodo.

O objetivo é promover melhor distribuição do lodo no interior do filtro-prensa, para se conseguir melhor eficiência na desidratação e tortas mais homogêneas.

O pré-enchimento pode ser feito utilizando-se o filtrado do ciclo anterior, armazenado para esta finalidade, e bombeado para o interior do filtro.

Quando a torta aderir ao tecido filtrante, dificultando a descarga, pode-se, para evitar este inconveniente, adicionar ao líquido de pré-enchimento um material "pré-filtrante", tal como terra diatomácea ou cinza ("fly ash").

Com isso forma-se uma camada junto à superfície do filtro, que evita a aderência do lodo. Normalmente, com lodo de esgoto, este procedimento não se faz necessário, especialmente quando se usam altas dosagens de cal para seu condicionamento.

4.7.2. Filtração

Esta fase compreende o bombeamento do lodo a ser desidratado, para o interior do filtro-prensa, até que se encerre a prensagem.

No início desta fase deve ser evitada a ocorrência de pré-filtração, que ocorre quando a filtração do lodo se inicia antes de estarem preenchidas com lodo todas as cavidades do filtro.

A ocorrência deste fenômeno provoca, no filtro, o aparecimento de grandes pressões diferenciais.

Em algumas instalações relata-se a ocorrência de pressões diferenciais com valores até 4 kgf/cm². Esta diferença de pressão provoca a deflexão das placas, resultando camadas alternadas mais finas e mais espessas de tortas de lodo, com alto teor de água.

Para se evitar este fenômeno, pode-se prever a introdução do lodo no filtro pelas duas extremidades. Desta forma, diminui-se a distância a ser percorrida pelo lodo, para atingir a câmara mais distante. Além disto, caso haja um aumento prematuro da pressão em uma das extremidades, automaticamente mais lodo será introduzi-

do pela outra, equilibrando desta forma as pressões.

Passado certo tempo após o início do recalque de lodo ao filtro-prensa, a pressão no filtro começará a subir rapidamente. As bombas de alimentação deverão então sofrer um ajuste automático de sua vazão em função do aumento de pressão, continuando a funcionar até que se atinjam as seguintes condições:

- 1) a pressão no filtro atinja a pressão final;
- 2) a vazão de filtrado atinja um valor mínimo pré-fixado.

4.7.3. Limpeza do Núcleo do Filtro

Essa operação consiste em extrair o lodo que fica contido no núcleo do filtro (por onde se faz a alimentação das placas), quando encerra-se a fase de prensagem.

O objetivo é evitar que este lodo, ainda não desidratado, seja descarregado com as tortas, o que pode causar problemas operacionais nos equipamentos de transporte e manuseio das tortas.

Isto é feito introduzindo-se ar comprimido por uma das extremidades do filtro, fazendo o lodo voltar ao tanque de condicionamento. Esta operação tem duração de cerca de 2 minutos.

4.7.4. Descarga da Torta

Após a limpeza do núcleo do filtro, inicia-se a descarga das tortas.

O operador deve destravar o filtro e acionar o mecanismo de abertura das placas. Caso se verifique aderência da torta ao tecido da placa, o operador deve auxiliar o seu desprendimento com uma pá.

O tempo de descarga é de cerca de 6 segundos por placa.

4.8. SISTEMA DE TRANSPORTE DAS TORTAS

Este sistema inclui os equipamentos necessários para transporte desde o ponto de descarga até o armazenamento nos silos.

Quando o mecanismo de abertura das placas é acionado, à medida em que cada placa é movida, as tortas são descarregadas.

A torta descarregada é dirigida a uma correia transportadora por meio de um funil metálico, disposto sob o filtro-prensa.

Geralmente são instalados fios metálicos cortantes, no interior desse funil, a fim de provocar a quebra da torta quando do descarregamento.

As correias transportadoras conduzem as tortas ao silo de armazenamento, de onde são retiradas para receber a disposição final.

A descarga deve ser acompanhada pelo operador, para verificar se as tortas se desprendem totalmente.

Caso parte da torta permaneça presa ao tecido de revestimento do filtro, o operador deverá removê-la manualmente, com o auxílio de uma pá de madeira.

Neste caso o mecanismo de movimentação das placas parará automaticamente, quando o operador interceptar o circuito de segurança.

O circuito de segurança normalmente é constituído por uma barreira luminosa, que quando cortada interrompe o funcionamento do mecanismo de movimentação das placas.

Algumas vezes são instalados cordões situados acima dos filtros, que quando puxados recolocam o mecanismo em funcionamento.

4.9. SISTEMA DE LAVAGEM DOS TECIDOS DE REVESTIMENTO DAS PLACAS

A lavagem dos tecidos de revestimento dos filtros tem por objetivo manter o equipamento operando com as taxas de filtração previstas.

Dois tipos de lavagem são usualmente efetuadas, a lavagem com jatos de água a alta pressão, e a lavagem com solução de ácido clorídrico a 5%.

4.9.1. Lavagem Com Jatos a Alta Pressão

Esta lavagem tem o objetivo de remover partículas de lodo que ficam retidas na fiacção dos tecidos filtrantes.

A lavagem é feita com as placas separadas, e os jatos de água incidindo diretamente sobre a superfície dos tecidos.

Durante a operação formam-se aerossóis que se espalham pelo ambiente. Por essa razão recomenda-se que a lavagem seja feita com água potável, e não usando o efluente tratado da ETE.

A quantidade de água e o tempo requerido para lavagem de cada placa varia de acordo com o tamanho dos filtros.

Estima-se que para um filtro com placas de 2,0 x 2,0 m, a vazão de lavagem seja de 350 l/min, com duração de 1,5 minutos por placa.

As máquinas de lavagem das placas podem ser montadas acopladas ao fil-

tro, ou então móveis, de forma a serem usadas em mais de um filtro.

As máquinas devem ser alimentadas por bombas com pressão da ordem de 100 kg/cm² para obtenção de uma boa lavagem.

A frequência da lavagem a alta pressão é determinada por diversos fatores: tipo de lodo a ser desidratado, número de horas de operação do filtro e eficiência do condicionamento químico. Em condições normais de operação, é de cerca de uma vez por semana.

4.9.2. Lavagem Com Solução de Ácido Clorídrico

Esta lavagem visa remover partículas de cal que fiquem incrustadas nas canalizações dos filtros e nos tecidos filtrantes. O ácido clorídrico reage com o cal formando sais. Estes são removidos dissolvidos na água de lavagem.

A frequência da lavagem com ácido clorídrico também está vinculada ao tipo de lodo e ao condicionamento. Prevê-se que, em condições normais de operação, ocorra mensalmente.

O sistema para lavagem com solução de ácido clorídrico é composto dos seguintes elementos principais:

- Tanque de armazenamento.

O ácido é nele armazenado, na mesma concentração em que é recebido, geralmente 30 a 33%.

O volume desse tanque deve permitir o armazenamento de quantidade suficiente para um mês de operação.

- Tanque de diluição.

Nesse tanque se processa a diluição do ácido à concentração de 5%, adequada à lavagem.

O volume do tanque deve ser suficiente para o enchimento do filtro prensa e das tubulações.

Deve ser prevista uma descarga de cal no tanque de diluição. Este dispositivo tem a finalidade de permitir a neutralização da solução, se necessário, quando de sua disposição final.

- Bombas de lavagem.

As bombas de lavagem devem ter capacidade para encher o filtro-prensa em cerca de 15 minutos.

Estas bombas podem ser utilizadas para preparar a solução de lavagem. Para tanto succionam simultaneamente do tanque de armazenamento de ácido e do tanque de diluição, recal-

cando para este. O operador deve controlar a concentração da mistura, desligando a bomba quando esta alcançar 5%.

A lavagem é feita com as placas fechadas, bombeando-se a solução ácida do tanque de diluição para o interior do filtro. A solução passa através dos tecidos filtrantes e retorna ao tanque de diluição.

A operação deve prosseguir, continuamente, com bombeamento em circuito fechado, até que se tenha assegurado uma boa limpeza.

A solução ácida poderá ser reutilizada desde que a lavagem anterior não a tenha neutralizado.

4.10. SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO

As instalações de grande porte, com inúmeros equipamentos envolvidos, e que operem em regime contínuo, devem ser dotadas de um sistema de controle automático que permita a operação segura, com dispêndio de pouca mão de obra.

A seguir apresenta-se o Diagrama Lógico de Funcionamento de uma instalação de filtros-prensa que opera em regime contínuo.

5. EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO DE FILTROS-PRENSA PARA DESIDRATAÇÃO DE LODO DÍGERIDO

5.1. DADOS DE PROJETO

a) Tipo de lodo a ser desidratado: Lodo dígerido, proveniente de mistura de lodo primário e excesso de lodo ativado.

b) Quantidade média de sólidos por dia:

- 1ª Etapa: 80.000 kg/d;
- Futuro: 200.000 kg/d.

c) Teor de sólidos do lodo a ser desidratado: 4,5%.

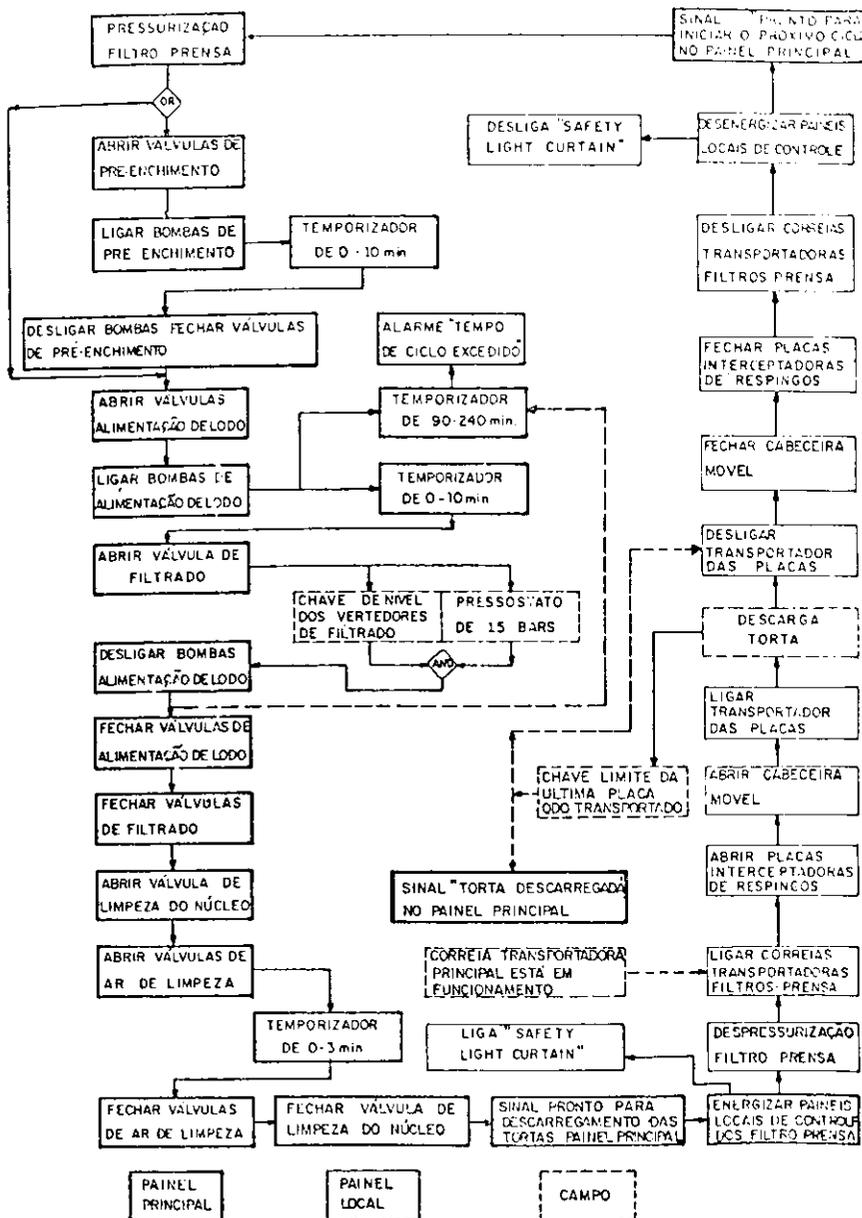
5.2. CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO

a) Período de operação das instalações:

- 7 dias/semana.
- 16 horas/dia.

b) Teor de sólidos previsto na torta de lodo: 40%.

DIAGRAMA LÓGICO DE FUNCIONAMENTO DOS FILTROS-PRENSA



c) Densidade estimada para a torta de lodo: 1.160 kg/m³.

d) Espessura da torta: ~ 30 mm.

e) Pressão de operação do filtro-prensa: 15 bars.

f) Produtos Químicos para condicionamento:

- Cal e Cloreto Férrico.

g) Taxas de dosagem de produtos químicos (% sólidos secos).

- 10-20% CaO (média 15%).
- 7,5-10% FeCl₃.

h) Lodo químico formado:

- Cloreto Férrico: 50% FeCl₃ dosado.

i) Fator de pico para o lodo: 1,25.

5.3. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO PRENSA

a) Estimativa do volume diário de tortas:

	Projeto		Futuro	
	Normal	Máx.	Normal	Máx.
a. – Sólidos do lodo (kg/d)	80.000	100.000	200.000	250.000
b. – Dosagem média de FeCl ₃ (kg/d)	6.000	7.500	15.000	18.750
c. – Lodo químico FeCl ₃ (kg/d)	3.000	3.750	7.500	9.375
d. – Dosagem média de Cal (Kg/d)	12.000	15.000	30.000	37.500
e. – Lodo químico CaO (kg/d)	9.600	12.000	24.000	30.000
f. – Total de Sólidos Prod. (kg/d)	92.600	115.750	231.500	289.375
g. – Concentração de Sólidos da Torta (%)	40	40	40	40
h. – Densidade da torta (kg/m ³)	1.160	1.160	1.160	1.160
i. – Volume de Torta produzido (m ³ /d)	200	250	499	624

b) Cálculo do Número de Tortas por Dia.

Usando filtro-prensa com placas de 2,0 x 2,0 m, espessura de torta = 30 mm, resulta:

- Volume por placa = 2,0 x 2,0 x 0,03 = 0,12 m³/placa. Adotado: 0,1 m³/placa.

• Número Diário de Tortas:

1ª Etapa:

$$\text{Média: } \frac{200}{0,1} = 2.000 \text{ torta por dia}$$

$$\text{Máxima: } \frac{250}{0,1} = 2.500 \text{ tortas por dia}$$

Final:

$$\text{Média: } \frac{499}{0,1} = 4.990 \text{ tortas por dia}$$

$$\text{Máxima: } \frac{624}{0,1} = 6.240 \text{ tortas por dia}$$

c) Determinação do Número de Filtros-Prensa

Para facilitar a seleção do número de filtros-prensa e de placas, foi preparado o gráfico apresentada na Ilustração 5.1 onde é apresentado o valor da produção diária de torta em função do n.º de placas por filtro, número de filtros-prensa e número de ciclos por dia.

Do gráfico vemos que para as condições de produção média do lodo, na 1ª Etapa seriam necessários 3 filtros com 130 placas; e na etapa final, 6 filtros com 150 placas (2,0 x 2,0 m) cada um.

Selecionado:

- 1ª Etapa: 3 filtros-prensa, com estrutura para 150 placas, com 130 placas instaladas.

- Futuro: 6 filtros-prensa com 150 placas.

No item seguinte é feita a verificação

ção para diferentes condições operacionais, e para atendimento da condição de máximo futuro.

d) Verificação das Condições de Operação.

Verifica-se que as instalações têm condições de atender as necessidades de produção de tortas, inclusive para o máximo futuro, operando nessa condição com 7 ciclos diários.

5.4. DIMENSIONAMENTO DAS BOMBAS DE ALIMENTAÇÃO DOS FILTROS

Estabelecendo que o enchimento de cada filtro com 150 placas dure 7,5 minutos, a vazão a bombear será:

$$Q_B = \frac{15 \text{ m}^3}{7,5 \text{ min}} = 2,0 \text{ m}^3/\text{min} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$$

Usar duas bombas por filtro, cada uma com capacidade de 60 m³/h.

5.5. CAPACIDADE DOS TANQUES DE CONDICIONAMENTO

Será adotado um tanque de condicionamento para cada filtro-prensa. Serão então, instalados três tanques na primeira etapa e outros três para a etapa final.

Cada tanque será dimensionado para poder armazenar a vazão proveniente do tanque de armazenamento, no período de 20 minutos que decorre entre dois enchimentos consecutivos do filtro.

	Projeto		Futuro	
	Média	Máxima	Média	Máxima
Filtros-prensa instalados				
● número	3	3	6	6
● câmaras/filtro	130	130	150	150
● capacidade do filtro (m ³)	13	13	15	15
Torta de lodo a ser processada (m ³ /d)	200	250	499	624
Operação normal				
● filtros em operação	3	3	6	6
● horas/dia	16	16	16	16
● ciclo/filtro	5,1	6,4	5,5	6,9
● duração máxima do ciclo (h)	3,1	2,5	2,9	2,3
Operação de emergência				
● Filtros operando	2	2	5	5
● horas/dia	20	24	16	20
● ciclos/filtro	7,7	9,6	6,7	8,3
● duração máxima do ciclo (h)	2,6	2,5	2,4	2,4

$$V = 20 \times 2,0 \text{ m}^3/\text{min} = 40 \text{ m}^3$$

Serão adotados tanques com 50 m³ de capacidade cada um.

5.6. DIMENSIONAMENTO DAS BOMBAS DE TRANSFERÊNCIA DE LODO PARA OS TANQUES DE CONDICIONAMENTO

Será adotada vazão idêntica à de alimentação do filtro. Assim, cada tanque de condicionamento será alimentado por uma bomba com capacidade de 120 m³/h.

5.7. VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS DE TRANSFERÊNCIA DE LODO E DE CONDICIONAMENTO E ALIMENTAÇÃO DOS FILTROS-PRENSA

O objetivo dessa verificação é conhecer o comportamento da variação do volume de lodo armazenado no tanque de condicionamento, ao longo dos ciclos operacionais do filtro, e conhecer o período que decorre entre duas ligações sucessivas da bomba de transferência de lodo.

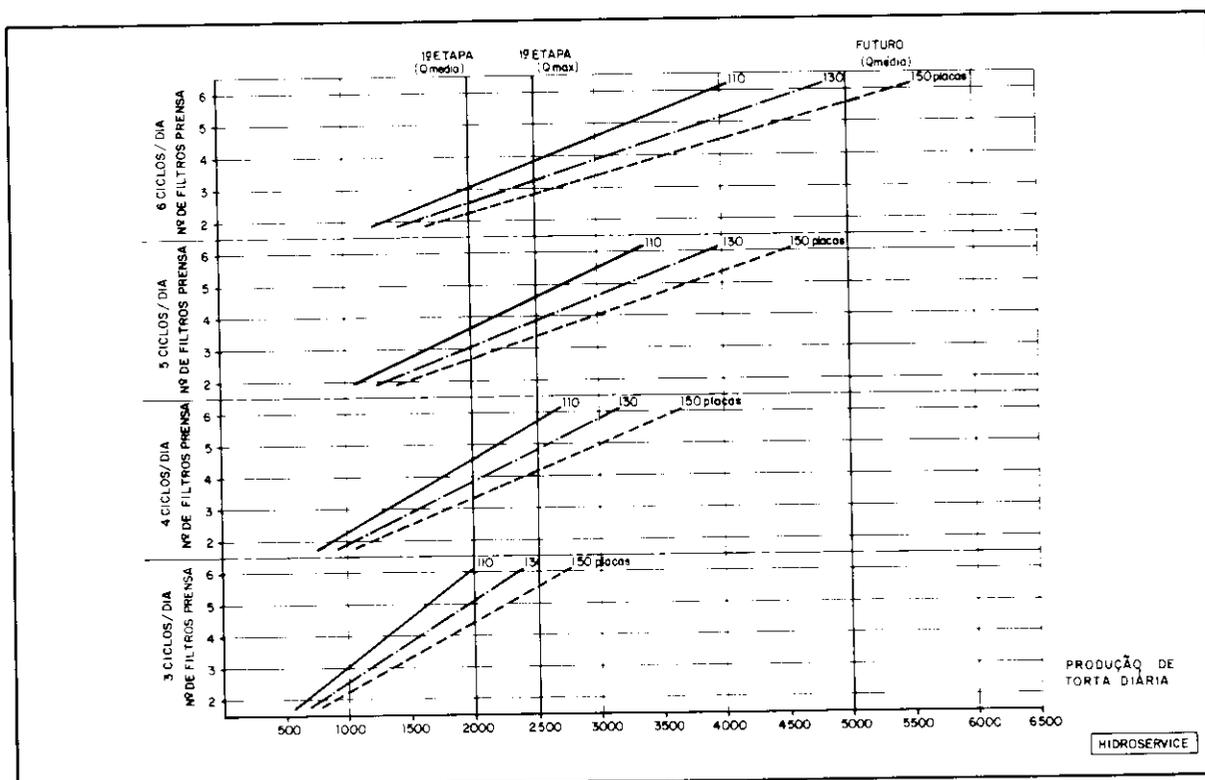


Ilustração 5.1 – Gráfico para seleção dos Filtros Prensa e do número de placas.

A verificação é feita para a condição futura.

- Lodo a ser processado: 200.000 kg SST/dia.
- Nº de ciclos por dia: 5,5 ciclos/dia.
- Nº de filtros-prensa: 6.
- Lodo a ser processado por ciclo por filtro: 6.060 kg SST/ciclo.
- Teor de sólidos: 4,5%.
- Volume de lodo a ser processado por ciclo por filtro: 134,7 m³.

- Acréscimo de volume devido à adição de cloreto férrico.

Dosagem de FeCl₃ por ciclo:
6.060 x 0,075 = 454,5 kg FeCl₃.

Volume de solução de FeCl₃ à conc. 10% = 4,5 m³.

- Acréscimo do volume devido à adição de cal:

Dosagem de CaO por ciclo = 6.060 x 0,15 = 909 kg CaO.

Volume de leite de cal a 10% = 9,1 m³.

- Volume total a ser processado por filtros:

$$134,7 + 4,5 + 9,1 = 148,3 \text{ m}^3$$

A ilustração 5.2 mostra a operação das bombas de alimentação dos filtros-prensa e das bombas de transferência de lodo, bem como a variação do volume do tanque de condicionamento.

Para a elaboração desse gráfico foram feitas as seguintes considerações:

a) Bomba de Transferência de Lodo.

- Acionamento para nível baixo (10 m³).

- Parada para nível alto (50 m³).

b) Ciclo de Filtro-Prensa:

Fase	Duração
Pré enchimento	5 min
Enchimento	20 min
Prensagem	108 min
Limpeza do núcleo	2 min
Descarga da torta	15 min
Total	150 minutos (2,5 horas)

c) Bombas de Alimentação dos Filtros.

Durante o enchimento as duas bombas operam com a máxima vazão.

Durante a prensagem a vazão das duas bombas variará, até um valor mínimo, quase nulo, tendo sido adotado para a construção do gráfico o valor médio de 60 m³/h.

6. DESENHOS TÍPICOS DE UMA INSTALAÇÃO

Os interessados nos desenhos originais do projeto de uma instalação de filtros-prensa devem entrar em contato com a Eng^a Tereza Cristina Lampoglia, do Departamento de Saneamento da HIDROSERVICE.

O projeto foi elaborado pela HIDROSERVICE, para a SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

As instalações têm capacidade para desidratar o lodo produzido na Estação de Recuperação de Qualidade de Água do ABC. A ERQ ABC terá capacidade para tratar a vazão de 6 m³/s na primeira etapa, e 15 m³/s na etapa final.

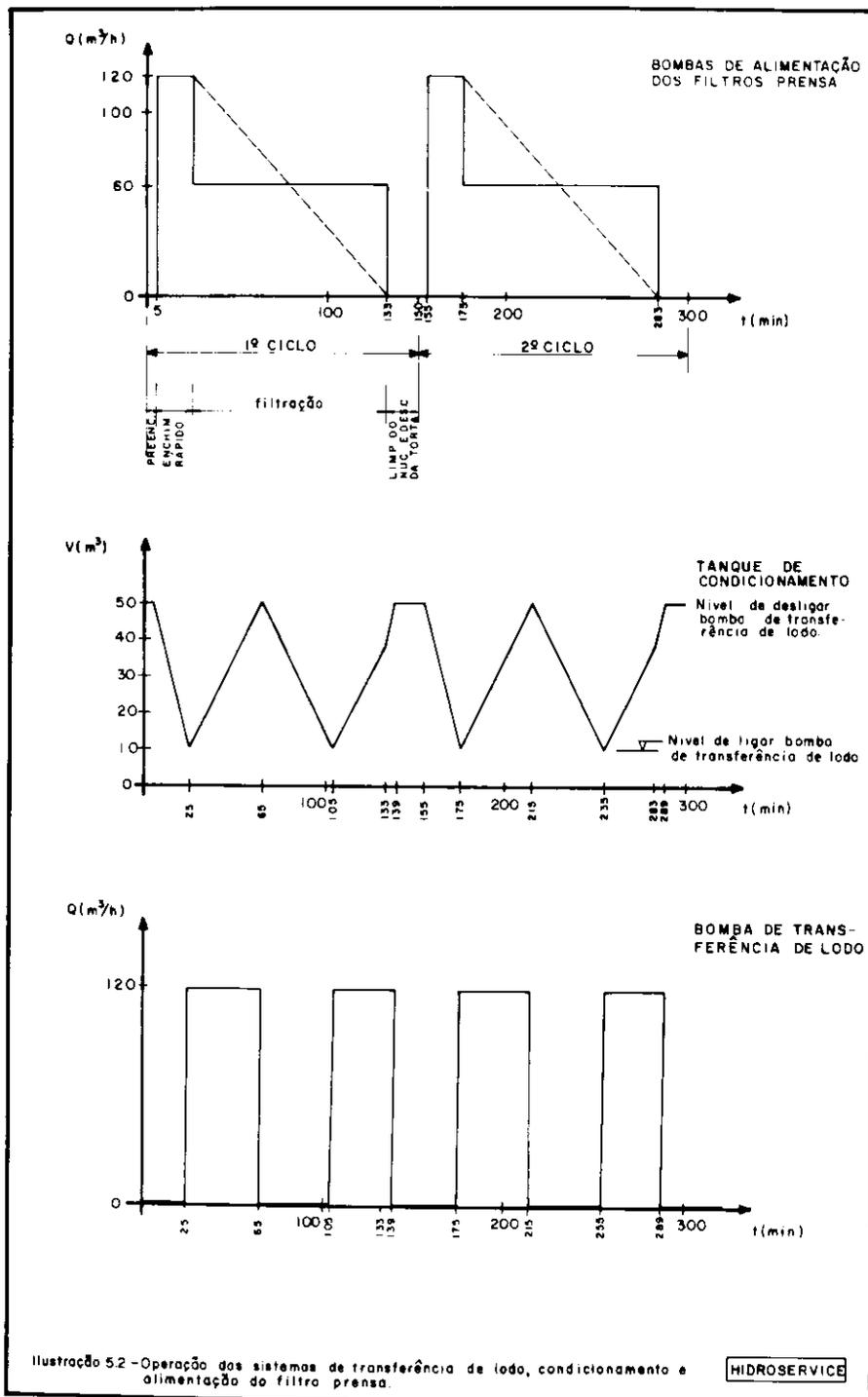


Ilustração 5.2 – Operação dos sistemas de transferência de lodo, condicionamento e alimentação do filtro prensa.