

ESCOLHER O SISTEMA DE DESAGUAMENTO MECÂNICO DE LODO – UMA MISSÃO POSSÍVEL

László Morvai

Gerente de Aplicações

Andritz Separation

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias de tratamento de água e de esgoto amplamente utilizados para a remoção de poluentes dissolvidos e coloidais seguem o mesmo conceito: durante o tratamento transformam estes poluentes em material sólido, que pode ser removido da fase líquida com maior facilidade. Nesta maneira, durante o tratamento químico, adicionamos um reagente, que precipita a poluente dissolvido; e durante o tratamento biológico, os microrganismos metabolizam os poluentes orgânicos dissolvidos, produzindo novas células.

Como resultado, os poluentes não serão completamente eliminados, mas transferidos da fase líquida numa fase sólida onde permanecem mais concentrados, e podem ser separados numa eficiência mais elevada e por custo de menos energia, normalmente através de decantação por gravidade. O resultado é um subproduto que chamamos “lodo”: suspensão de sólidos de alto teor de matéria orgânica e compostos responsáveis pela característica desagradável de efluentes, e com > 95 % de água em peso.

A consequência da concentração dos poluentes do lodo é que o tratamento do mesmo fica complexo e caro: numa estação de tratamento de esgoto, por exemplo, o volume do lodo gerado é apenas 1 a 2 % do volume do esgoto tratado, porém o processamento do lodo representa aproximadamente 40 % dos custos de implantação; 20 a 60 % de custos de operação e 90 % dos problemas operacionais. (Khiari et al., 2004). Considerando um sistema de saneamento básico completo, estima-se que para cada 1 m³ de água tratada, sejam gerados 20 g de resíduos sólidos e mais 76 g/m³ no tratamento dos efluentes; ou seja, um total de 96 g/m³ no processo como um todo (Mogami, S., 2010).

Dos resíduos sólidos produzidos de uma estação de tratamento de efluente, esgoto ou de água, os sólidos removidos durante o tratamento preliminar, como no gradeamento e na remoção da areia, não são considerados como lodo, e em circunstancias normais não estes entram no processo de tratamento do lodo.

Os processos que englobam a disposição final de 90% do lodo produzido no mundo são: incineração, disposição em aterros e uso agrícola. No Brasil, o descarte ainda é normalmente realizado em aterros sanitários. (Iwaki, 2017).

Com a aplicação da tecnologia de secagem térmica torna-se possível a produção de bio sólidos secos e granulados, com teor de umidade remanescente menos que 10%, assegurando-se a eliminação de organismos patogênicos de modo a possibilitar sua classificação como bio sólido classe A. No Brasil, o artigo 3º da **Resolução CONAMA nº 375/2006**, define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, para que possam ser utilizados na agricultura. Alguns poluentes, como os metais pesados presentes nos lodos, porém, limitam a possibilidade da reuso no agrícola: alguns lodos industriais, e lodos de estações de tratamento de efluentes que recebem alta carga de efluentes industriais não podem ser considerados como potenciais bio sólidos.

A preocupação do tratamento correto do lodo é mais recente que do tratamento de esgotos e efluentes. Até os anos 1990 nos projetos das ETEs pequenos, o tratamento de lodo praticamente foi ignorado. Graças a espaço físico abundante no país, a aplicação das lagoas de estabilização ganhou muita importância, mas esta solução, não pode ser considerado definitiva, serviu apenas para “adiar a decisão de investimento”. As opções oferecidas pelos fornecedores também eram limitadas, até o “boom” da aplicação das centrifugas decanters a partir de 1995, a tecnologia predominante era a filtro prensa de câmara além da prensa desaguadora em algumas estações de tratamento de esgoto maiores. O conhecimento técnico dos responsáveis pela decisão de investimento sobre o tratamento de lodo também é menos ampla, que sobre o tratamento de efluentes. Muitas vezes a decisão por um sistema ou por outro, é resultado do trabalho de “marketing” de um fornecedor e não de uma análise técnica profunda.

O objetivo deste artigo é oferecer uma orientação para a escolha tecnicamente correta de um sistema de desaguamento mecânico do lodo, que é o principal – na maioria dos casos é o único – componente do sistema de tratamento de lodo. Ganhou foco privilegiado o processo de levantamento de dados, explicando em detalhes a importância de cada parâmetro necessário para a escolha e o dimensionamento do sistema.

2. A IMPORTANCIA DE DESAGUAMENTO MECÂNICO

O processo de tratamento do lodo inclui várias etapas, com objetivos diferentes (Tchobanoglous, G., et al, 2003):

- a. Adensamento, com objetivo de reduzir o volume do lodo, elevando a concentração do mesmo de aproximadamente 1 % para > 3 %, através da remoção de água livre.
- b. Estabilização, com objetivo de reduzir a população de microrganismos patogênicos presentes; e diminuir a possibilidade de geração de odores e da atração de vetores durante as etapas consecutivas de tratamento e da disposição final, através a redução de potencial de putrefação. Algumas tecnologias como a digestão biológico do lodo, reduzem ainda a quantidade de lodo.

- c. Condicionamento do lodo, com objetivo de facilitar a separação das partículas sólidas da fase líquida.
- d. Desaguamento – ou desidratação – mecânica, com objetivo de reduzir o volume e transformar o lodo ainda líquido em material livre de líquido livre, transportável como material sólido em granel.
- e. Higienização de lodo, com objetivo de diminuir patogenicidade até um nível que o lodo não cause riscos à população nem ao meio ambiente, ao ser disposto no solo. Como o objetivo e o resultado desta etapa é muito parecido com a estabilização, podemos denominar como “estabilização em fase sólida”.
- f. Secagem térmica, com objetivo de reduzir o volume dos rejeitos no máximo possível. Os processos térmicos resultam também a higienização de lodo.

A maioria das fontes de literatura técnica considera o processo de tratamento de lodo como uma linha consecutiva das tecnologias referentes das etapas acima listadas. Na prática, porém, não podemos definir claramente esta linha, porque algumas tecnologias aplicadas enquadram mais que uma etapa do processo geral. A digestão anaeróbica e a estabilização alcalina, por exemplo além da redução da atividade microbiológica nas etapas consecutivas, facilitam a remoção da água durante a desaguamento, assim contribuem no condicionamento do lodo. Algumas etapas podem ser “opcionais”, dependendo a destinação final do lodo e as possibilidades – técnicas e econômicas - da ETE. Considerando estas particularidades, sugiro a esquema generalizada mostrada na Figura 1 para a descrição do processo de tratamento do lodo em geral.

Como pode observar, a única etapa, que não pode ser considerado “opcional” é o desaguamento - desconsiderando a aplicação de secagem natural (leitões de secagem). Muitas vezes, esta única etapa de desaguamento mecânico constrói o processo de tratamento de lodo de uma ETE. Por este motivo, a escolha de tecnologia de desaguamento merece atenção privilegiada.

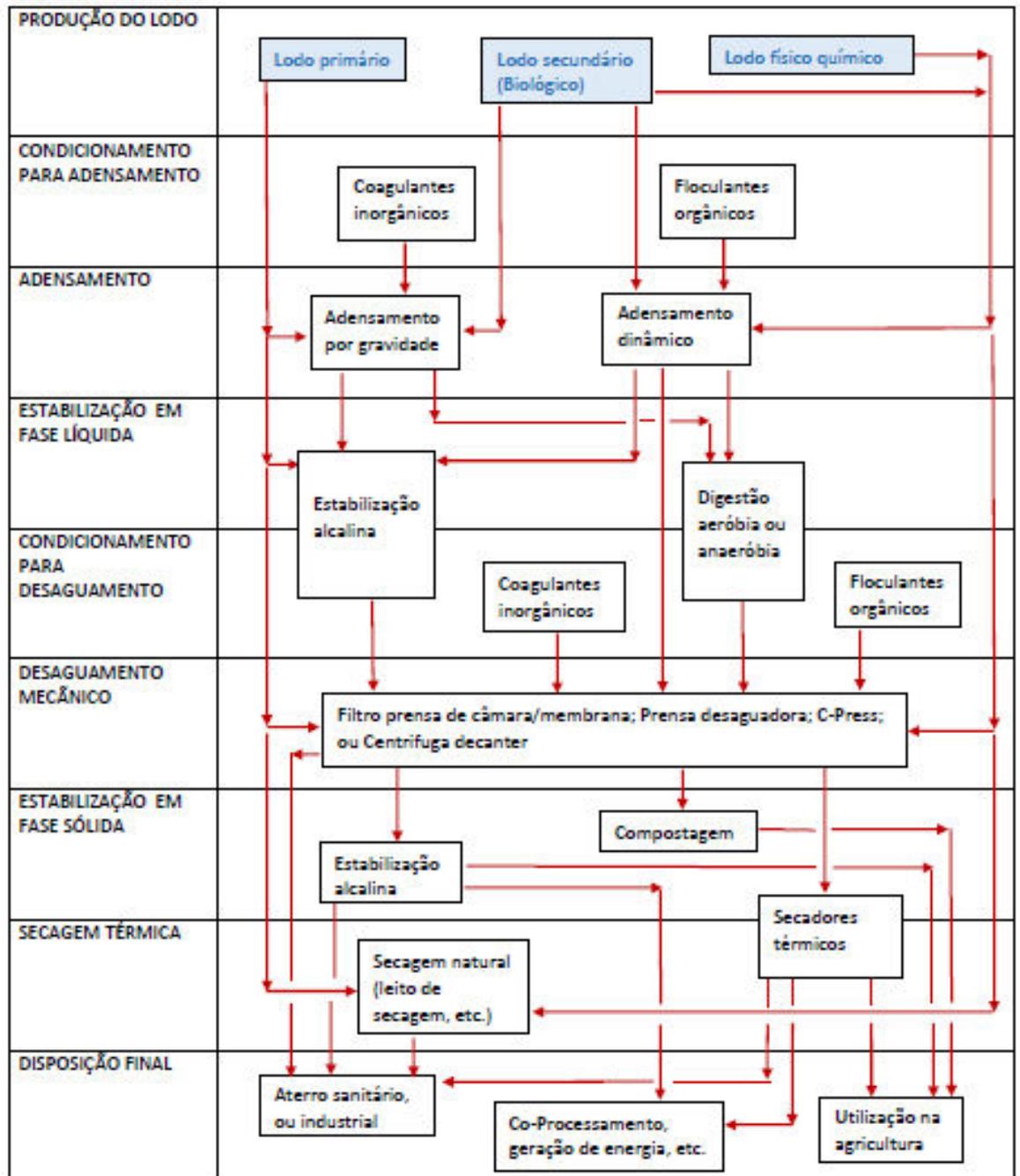


Figura -1: Alternativas e seqüências dos processos de tratamento de lodo.

3. TECNOLOGIAS E EQUIPAMENTOS DO DESAGUAMENTO MECÂNICO

Os processos de desaguamento podem ser naturais ou mecanizados. O princípio do desaguamento natural é a evaporação e a percolação, e abrangem tecnologias como leitos de secagem, lagoas de secagem de lodo e de aplicação de tubos de mantar permeáveis. Como o tempo de retenção, e conseqüentemente o espaço necessário é elevado em caso destas tecnologias, este último frequentemente é o fator limitante para a aplicação do desaguamento natural. Para estações muito pequenas, porém, podem ser as únicas soluções economicamente viáveis.

Nos processos de desaguamento mecânico a separação de sólidos e líquidos pode ser feito na base de diferença de tamanho das partículas, ou na base de diferença do peso específico da fase sólida e líquida. Os equipamentos, que seguem o primeiro princípio, são os diversos equipamentos de filtração, como filtro-prensa, filtros a vácuo, prensa desaguadora (“belt-press”) e outros equipamentos contínuos de filtração como prensas parafuso, (C-Press) ou prensas rotativas (“Rotary Fan Press”). As centrifugas, no outro lado, funcionam a base de diferença de peso específico.

O maior objetivo da aplicação dos equipamentos de desaguamento mecânico é a redução de espaço necessário, e o aumento da eficiência, já que estes equipamentos geralmente precisam um investimento considerável. Para a maioria dos lodos, algum tipo de condicionamento é indispensável para garantir estes objetivos. Caso do lodo biológico, não digerido, nenhum equipamento de desaguamento funciona sem condicionamento químico: ou seja, sem adição de coagulantes e floculantes. A “torta” de lodo resultado do desaguamento mecânico, ainda contém uma quantidade significativa de água - muitas vezes até 70 a 80 % - mas, mesmo com esse teor de umidade já não se comportam como um líquido e podem ser manuseadas como um material sólido.

A Andritz Separation atualmente é a empresa com a maior oferta de diferentes equipamentos de filtração e centrifugação adequados para desaguamento mecânico de lodo. Entre eles, com maior número de máquinas instaladas, destaquem-se os filtros prensas – tanto de câmara ou de membrana -; as prensas desaguadoras; o C-Press e a Centrifuga decanter.

3.1. FILTRO PRENSA

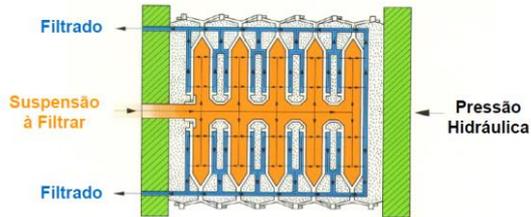
A filtro prensa é a tecnologia mais antiga da separação de sólidos e líquidos. A primeira unidade para desaguamento de lodo municipal em larga escala surgiu nos Estados Unidos no começo da década de 1920 (Miki *et al.*, 2006).

O filtro prensa composto de várias placas de filtro, posicionados verticalmente em uma estrutura de suporte. Estas placas possuem um perfil que permite às mesmas, quando montadas uma contra a outra, formarem no interior do filtro prensa uma série de câmaras que são completamente preenchidas pelos sólidos. O volume total destas câmaras depende do número de placas. As placas geralmente têm um canal de alimentação central que atravessa todo o comprimento do filtro-prensa de modo que todas as câmaras do pacote de placas estejam interconectadas. Cada placa é revestida uma lona de filtro adequado em ambos os lados. Sob pressão, seja por meios mecânicos ou hidráulicos, o lodo é bombeado para o filtro através dos furos de alimentação para as câmaras formadas entre as placas. O líquido penetra no meio filtrante, deixando os sólidos para trás entre as placas. Com o bombeamento contínuo, forma a torta de lodo e, finalmente, enchem a câmara. Após o ciclo de filtração, as placas são separadas e os sólidos desidratados caem facilmente em um meio de descarga. Nesta maneira, a operação de filtro prensa é intermitente, composto por ciclos repetitivos.

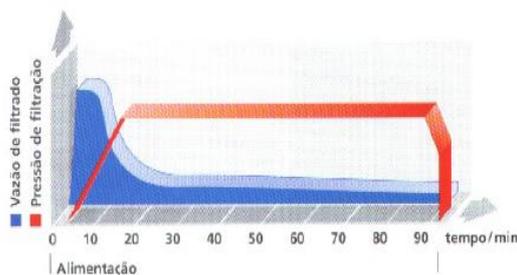
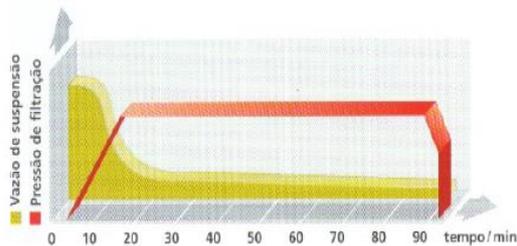
Além dos filtros de câmara simples, no desaguamento de lodo são amplamente aplicados os filtros prensas tipo membrana. As placas destes filtros possuem uma membrana, e permitem que um meio (líquido ou gás) pressurizada seja introduzida entre o corpo da placa e a membrana. Nesta maneira, o volume das câmaras diminui, forçando o líquido remanescente sairá da torta. O ciclo de operação, portanto, além de enchimento, e pressurização inclui mais uma etapa de pressurização de membrana, antes a abertura do filtro e o descarregamento da torta. Como opção, estes equipamentos permitem a “secagem” da torta, dentro do equipamento fechado, passando ar comprimido na torta na final do ciclo de filtragem.

A diferença ente o funcionamento e o ciclo de operação do filtro prensa de câmara simples e de membrana está ilustrado na Figura 2.

FILTRO PRENSA TIPO CÂMARA

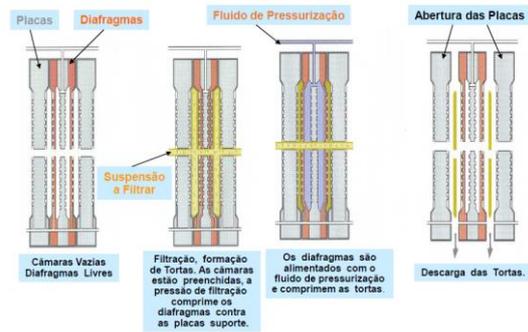


Funcionamento

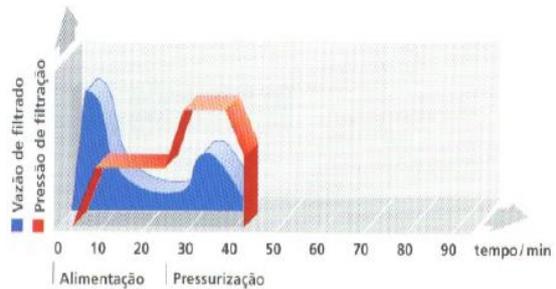
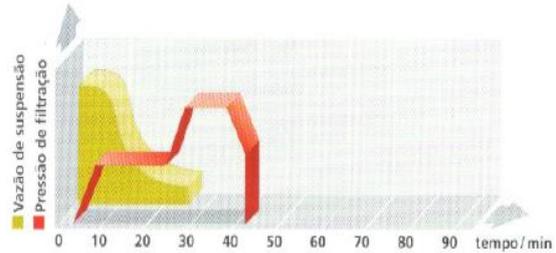


Ciclo

FILTRO PRENSA TIPO DIAFRAGMA



Funcionamento



Ciclo

Figura 2: A diferença de funcionamento; e de variação da vazão de alimentação, vazão de filtrado e a pressão da filtração durante a operação do filtro prensa tipo câmara e de diafragma.

Em função da aquisição da R&B e Netzsch Filtrationstechnik em 2004, a Andritz Separation passou a ser o principal fornecedor de filtros prensa de alta qualidade, utilizados nos setores municipal e industrial. Andritz já forneceu mais de 10 mil prensas até o momento e, por isso, tem um amplo conhecimento de filtração. O portfólio das máquinas inclui filtros que atendem uma ampla faixa de capacidade (com placas de 400 x 400 mm até 2500 x 2500 mm), com dois tipos de construção: “side-bar” e “overhead” (Figura 3.) Estes filtros podem atender das condições severas de mineração aos produtos farmacêuticos mais delicados; e do setor alimentício aos requisitos ATEX.

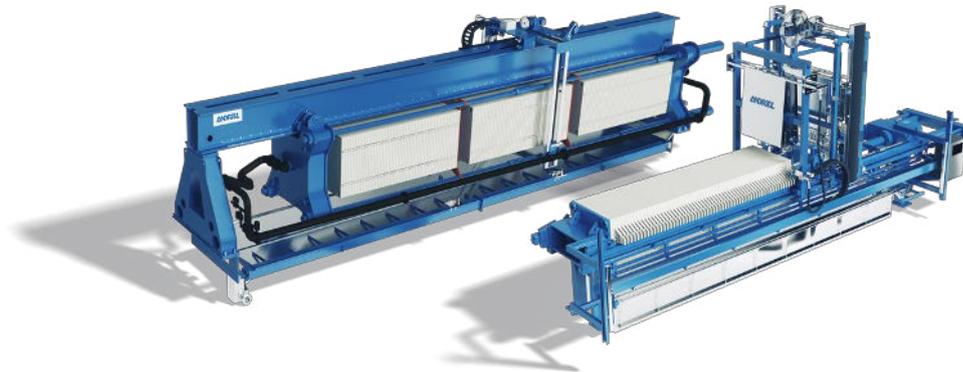


Figura 3: Filtro prensa “overhead” (esquerda) e “sidebar” (direita). A maior diferença de construção é a suspensão das placas. A tecnologia “overhead” com uma única viga de suspensão para as placas está aplicado em filtros maiores, trabalhando em condições mais severas.

Quando elaboramos um projeto de desaguamento de lodo com filtro-prensa, não podemos desconsiderar as seguintes particularidades do processo:

- a. A operação do filtro prensa é intermitente, e mesmo na a fase de enchimento e filtragem a vazão é variável: alto no começo do ciclo e baixo na final da prensagem. Por esta razão, é necessário construir um tanque de alimentação com volume apropriado para absorver esta flutuação. Como a operação é intermitente, este tanque pode funcionar como tanque de floculação. O mesmo critério é válido para a coleta do filtrado, e no dimensionamento de correia ou rosca transportadora também tem que considerar a característica intermitente da descarga da torta.
- b. O meio da filtração é a própria torta, não é a lona da filtração! A lona serve como “suporte” para a formação da camada inicial da torta filtrante. Por esta razão, o filtro prensa só funciona bem quando a torta é permeável suficiente para deixar o líquido passar, assegurando uma taxa de filtração viável. Lodos inorgânicos, como o de proveniente de tratamento de efluentes de galvanoplastias tem esta característica e podem ser desaguados por filtro prensa mesmo sem adição de floculante ou somente com polieletrólito. Lodos de origem de tratamento biológico, no outro lado, formam uma camada impermeável, se aplicamos apenas polieletrólito como floculante. Neste caso, a adição de coagulantes e floculantes inorgânicos, o de algum auxiliar de filtração (cinza) é indispensável para garantir a taxa de filtração viável. A dosagem necessária normalmente é alta: usando cloreto férrico como coagulante é 8 a 15 % do teor original dos sólidos presentes do lodo, e para corrigir a pH, precisa adicionar cal hidratada em quantidade de 20 a 40 % dos sólidos. Como consequência, aumenta-se a quantidade de torta gerada, mesmo quando a concentração de sólidos é superior na torta comparando com

outras tecnologias de desaguamento mecânico. Em geral é verdade que o filtro prensa gera tortas mais “secas” que qualquer outro equipamento, mas esta vantagem fica questionável quando fazemos a comparação com aplicações que nos outros equipamentos permitem condicionamento diferente à dosagem de inorgânicos.

3.2. PRENSA DESAGUADORA

A aplicação das prensas desaguadoras (“belt filter press” as vezes traduzido como filtro-prensa de correia) no processo de desaguamento de lodo começou na Europa na década de 1960, e nos EUA nos anos 70. A origem do equipamento é a desaguamento de fibras de papel, e foi modificado para atender as características de outros tipos de lodo. Sendo um equipamento de operação contínua, tornou-se um dos equipamentos predominantes de desidratação mecânica.

Nas prensas desaguadoras o lodo – já condicionado – é introduzido entre duas correias, que uma atuam como o meio filtrante. Estas se deslocam entre roletes que promovem a compressão de uma esteira ou correia sobre a outra, provocando a remoção do líquido. Nas prensas desaguadoras modernas e eficientes a remoção de líquido é feito em três etapas consecutivas:

- a. Na primeira etapa, o lodo é distribuído numa das correias filtrantes, e a maior parte de água livre é drenada nesta etapa por gravidade. Em alguns modelos, esta etapa é assistida por aplicação de vácuo, isso aumenta a eficiência de desaguamento inicial e pode reduzir a emissão de odores. Normalmente, a concentração do lodo chega ao 5 a 10 % no final desta etapa.
- b. Na segunda etapa, uma outra esteira filtrante é introduzida em cima da camada de lodo parcialmente desaguado, e as duas esteiras – juntos com o lodo entre elas – passam entre rolos, aplicando se uma pressão quase constante. Esta etapa chama se como de baixa pressão. O maior objetivo nesta fase é “preparar” a torta para chegar uma consistência mais “firme” e não “escapar” nas laterais das telas na próxima etapa.
- c. Na terceira etapa, que conhecida como zona de alta pressão, forças são exercidas no lodo pelo movimento das correias superior e inferior, ao passar num série de rolos com diâmetros decrescentes. Alguns os fabricantes têm na zona de alta pressão utilizam dispositivos hidráulicos para aumentar a pressão sobre o lodo, e completar o desaguamento. A torta é recolhida através de lamina de raspagem. A telas estão lavados continuamente antes de receber a nova camada de lodo.

Nas prensas desaguadoras de última geração, como a Andritz SMX-Quantum “Heavy Duty Belt Press” há ainda mais uma etapa, chamada pré-desaguamento entre as secções de baixa e alta pressão, composto por passagem sobre tambores perfurados. Esta inovação resulta melhor distribuição do aumento de pressão, garantindo assim maior capacidade hidráulica e concentração mais alta na torta. A esquema de funcionamento deste equipamento está visualizada na Figura 4.

A capacidade das prensas desaguadoras é proporcional com a largura das correias; esta normalmente varia entre 0,5 e 3,5 m, e no tratamento de lodo os modelos mais

aplicados são da largura de 2,0 m Dependendo da característica e concentração original do lodo a carga aplicável de sólidos varia de 90 a 680 kg sólidos / m de tela (largura) por hora; e a capacidade hidráulica deve ficar na faixa de 1,6 a 6,8 m³/ m de tela (largura) por hora.

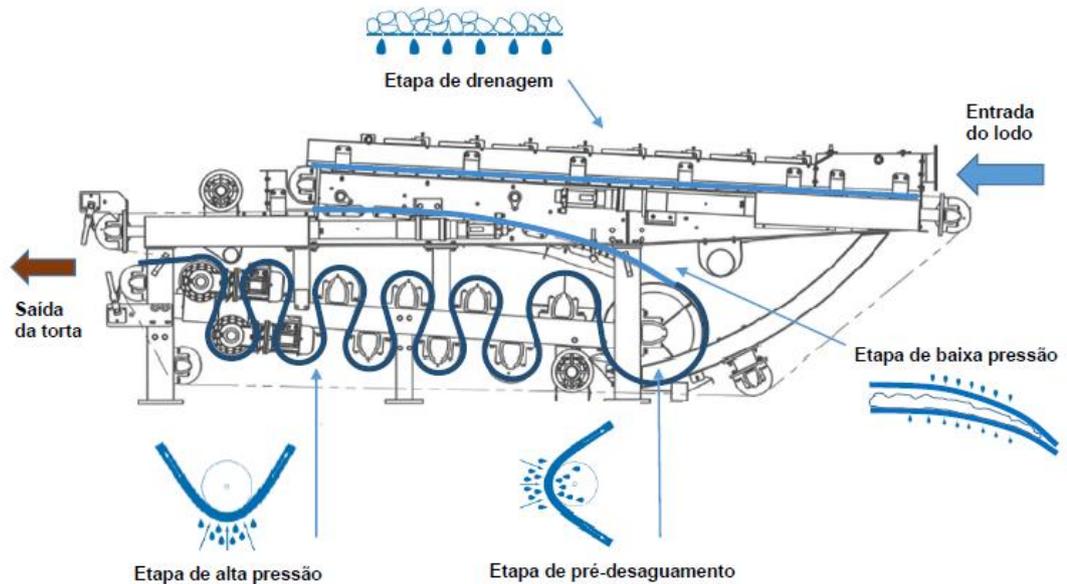


Figura 4.: Esquema de funcionamento da prensa desaguadora da Andritz SMX-Q.

A Andritz é um dos fornecedores tradicionais de prensa desaguadora. No portfólio da empresa existe mais que 30 modelos e tamanhos diferentes, incluindo sistemas de dois e 3 correias. Este último é praticamente é uma mesa adensadora construída em cima de um “belt press”, aproveitando, que a construção similar dos dois equipamentos oferece a oportunidade única de interligar a fase de adensamento e desaguamento sem tanque e bombas intermediários. (Figura 5)



Figura 5.: Prensas desaguadoras da Andritz: Na esquerda a configuração de duas correias, na direita a configuração de 3 correias

As vantagens e desvantagens do equipamento são resumidos abaixo (Westerling, K., 2016):

Vantagens:

- Operação contínua.
- Baixo investimento de capital.
- Baixo custo operacional, devido do baixo consumo de energia.
- A prensa desaguadora é adequado para trabalhar com lodo com baixa concentração mesmo quando o conteúdo de sólidos for menor que 1%;
- Equipamento com velocidade muito baixa (tipicamente de 3 a 10 rpm). Consequentemente, não gera vibração, não precisa isolamento de vibração.
- É fácil de controlar - os operadores podem ver o efeito do polímero e o processo observando a aparência do lodo floculado em cima da tela. O baixo cisalhamento diminui a quebra dos flocos já formados.
- O dano acidental por material abrasivo e por partículas maiores é limitado, prensa desaguadora pode geralmente segurar uma grande variedade de material estranho que passa por ele. Isso pode ser uma grande vantagem em estações de gradeamento e remoção de areia menos eficiente.
- O projeto da máquina facilita a manutenção, de modo que uma pequena oficina local pode fazer toda a manutenção que é necessária.

Desvantagens:

- A concentração de sólidos na torta é mais baixa comparando com outras tecnologias.
- Alto consumo de água pela lavagem contínua das telas.
- Produz aerossóis e odores, quando o equipamento não é completamente fechado.
- Lodo contendo óleos e graxas podem impregnar as telas de filtragem, mesmo com a lavagem contínua.
- Precisa maior atenção dos operadores e mais trabalho de manter limpo o posto de trabalho.

Alguns fornecedores de prensas desaguadoras mencionam, que o consumo de polieletrólito nas prensas desaguadoras é menor comparando com outros equipamentos de desaguamento. Este tipo de argumento deve ser recebido com certa crítica, porque o consumo de polieletrólito depende do tipo e características do lodo, do polieletrólito aplicado, da eficiência do equipamento do preparo e do modo de aplicação. Para chegar em conclusões definitivas, precisamos resultados de equipamentos funcionando em paralelo, na mesma ETE, com o mesmo lodo, usando o mesmo polieletrólito. São disponíveis poucos relatórios deste tipo, e os resultados mostram, que em caso de lodo primário, o consumo é mais alto na prensa desaguadora, aproximadamente 120% do consumo determinado em centrífuga decanter; mas no outro lado, trabalhando com lodo secundário, o consumo foi realmente mais baixo, menos que 50 % do decanter (Eagle Eye Banquet Facility, 2015). Trabalhando com lodo parcialmente digerido (SV/ST = 0,7), o consumo no “belt press” foi 75% do consumo medido no centrífuga decanter (City of Tampa, 2013).

3.3. PRENSA PARAFUSO (C-PRESS)

A prensa parafuso é composto de uma rosca sem fim, construído numa maneira que a volume entre os passos da rosca do começo de fim é cada vez menor; e um cesto, composto por cilindros segmentados parafusados, reforçados e bipartidos em toda extensão em torno da rosca, suportando a chapa perfurada e a tela filtrante. O lodo é enviado para um tanque de reação onde recebe a adição de polieletrólito. O lodo floculado é transportado através de baixíssima rotação (normalmente é de 0,2 a 2,0 rpm) ao helicóide (rosca). O filtrado escoar por gravidade através dos orifícios da camisa perfurada sendo coletado na parte inferior do equipamento. Ao final da etapa de compactação o lodo já desidratado é expelido continuamente pela rosca, contra uma placa de pressão, totalmente ajustável por dispositivos pneumáticos. A boa permeabilidade dos cestos está garantido por um sistema de lavagem. A lavagem dos cestos é intermitente, por isso o consumo de água de lavagem é menor que em caso das prensas desaguadoras. A rotação da rosca, a pressão da placa da descarga, a rotação do agitador do tanque de floculação e frequência de lavagem são parâmetros ajustáveis, tornando possível a otimização do processo e facilitando a operação automática.

A esquema funcional está visualizado na Figura 6.

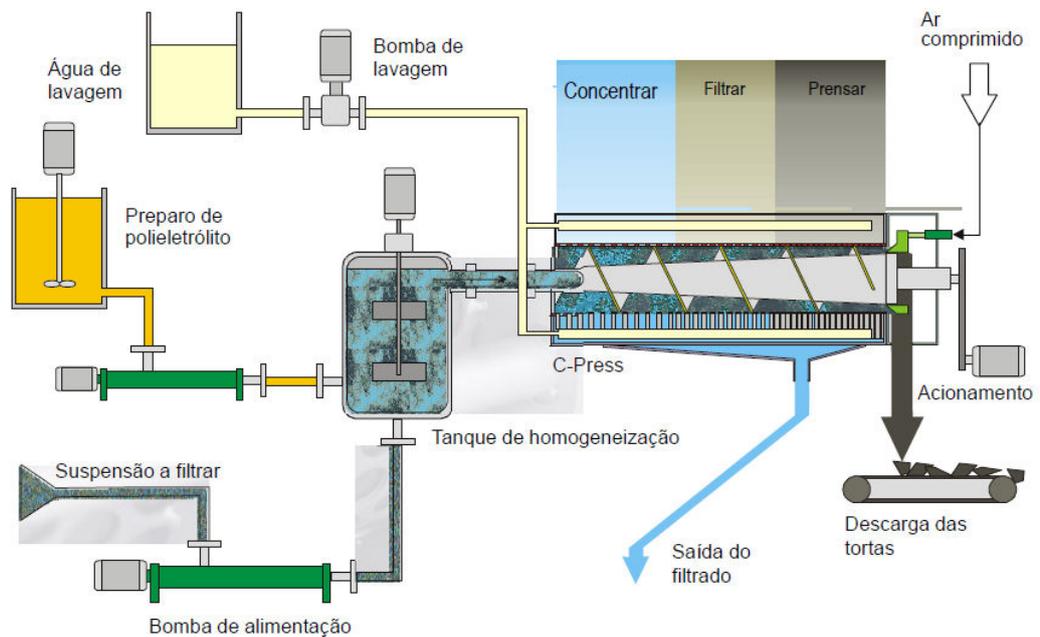


Figura 6: Fluxograma básico da prensa parafuso (C-Press da Andritz)

A ideia de funcionamento de prensa parafuso não é novidade: o princípio é o mesmo que das prensas manuais usados para extrair suco de uva por exemplo. A aplicação do equipamento na área de desaguamento mecânico de lodo ganhou espaço no início dos anos 2000, como busca de um equipamento contínuo, que engloba das vantagens das

prensas desaguadoras (baixo consumo de energia, baixo custo de manutenção) e dos centrífugas decanters (equipamento fechado, fácil automação). A Netzsch Filtrationstechnik – adquirido pelo Andritz - foi o pioneiro da aplicação desta tecnologia no Brasil. O equipamento passou recentemente numa fase de modernização, a Figura 7 mostra a construção do Andritz C-Press.

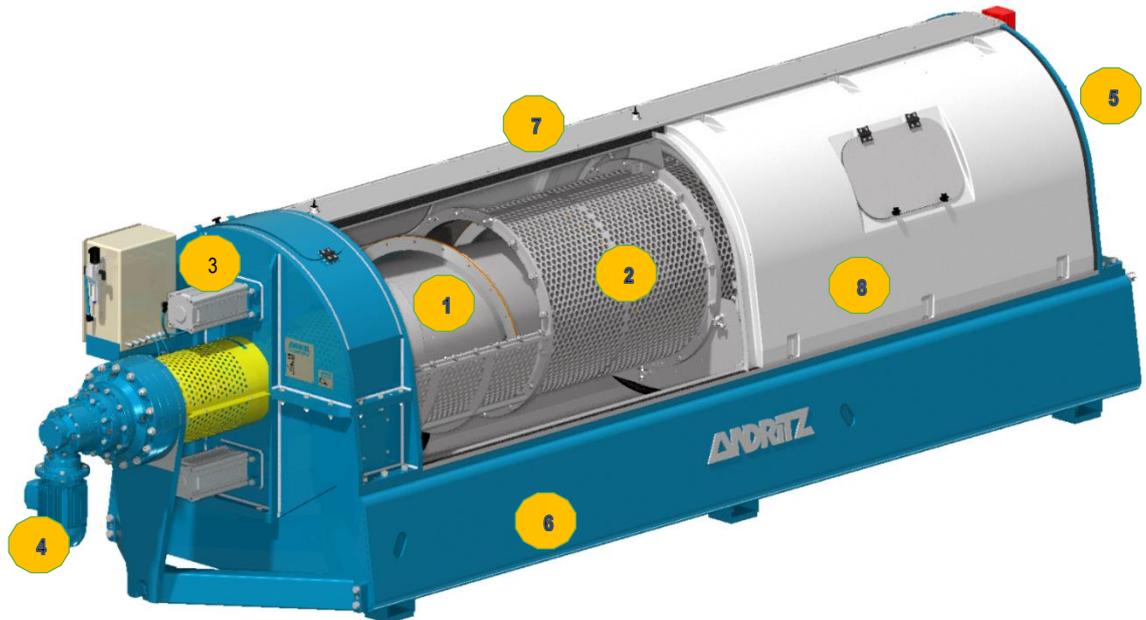


Figura 7: C-Press da Andritz. 1- Parafuso (rosca); 2- Cestos; 3 – Pressionador pneumático; 4 – Acionamento; 5 – Alimentação; 6 – Base; 7 – Lavador dos cestos; 8 – Fechamento externo.

As vantagens e desvantagens das prensas parafuso são resumidos abaixo (Westerling, K., 2016).

Vantagens:

- Operação contínua.
- Baixo consumo de energia.
- Precisa baixa atenção dos operadores, fácil automação.
- Equipamento com rotação muito baixa (tipicamente de 0,2 a 2 rpm). Consequentemente, não gera vibração, e a custo de manutenção é muito baixo.
- Baixo nível de ruído.
- Equipamento completamente fechado, não gera aerossóis e facilita o controle dos odores.

Desvantagens:

- O fator limitante é a capacidade hidráulica (drenagem através as telas), conseqüentemente perde capacidade trabalhando dos lodos diluídos. Nas ETEs de alta produção de lodo precisam várias unidades em paralelo.
- Necessita floculação muito boa do lodo, por isso consome mais polieletrólito que a prensa desaguadora.

- Menor eficiência de captura de sólidos por causa da lavagem periódica dos cestos. Temos que mencionar, que a construção da Andritz C-Press permite que o filtrado durante a lavagem seja direcionado para o tanque do lodo, melhorando assim a captura.

As prensas de pistão hidráulicas; e as prensas rotativas “Rotary Fan Press”, que seguem um princípio muito similar à prensa parafuso, não estão sendo aplicadas no Brasil em escala significativa. Foi publicada nos EUA uma comparação entre a prensa parafuso e a prensa rotativa através testes como equipamentos piloto (Novak, K, 2012). Neste caso publicado, a prensa rotativa tinha custos de aquisição e instalação mais baixos, apresentou menor consumo de polieletrólito, a secagem da torta, porém ficou muito aquém da prensa parafuso: a concentração dos sólidos foi de 13 % em média na prensa rotativa e 19 % em média na prensa parafuso.

3.4. CENTRIFUGA DECANTER

Houve tentativas de usar equipamentos de centrifugação para a desaguamento de lodo já no começo do século XX, mas somente a surgimento e ampla aplicação dos polieletrólitos orgânicos abriu o caminho para os decanters centrífugos, tornando a qualidade de filtrado “aceitável” nos anos 1960. As primeiras máquinas de centrifugação eram de operação intermitente, as modernas centrifugas decanters oferecem operação contínua e completamente automatizada.

Ao contrário das tecnologias apresentadas no parágrafo anterior, as centrífugas decanter não precisam elemento filtrante. O princípio por trás de uma centrífuga decanter é baseado na teoria da separação gravitacional. Por exemplo, se você encher um cone Imhoff com uma mistura de lodo e água, com o tempo, o maior peso específico do lodo fará com que ele se acumule no fundo do cone. Com o lodo concentrado no fundo, a água será forçada para cima, criando uma separação clara entre os duas fases. Uma centrífuga decanter emprega os mesmos princípios de força gravitacional. No entanto, o processo é acelerado através do uso de rotação contínua. Esta rotação fornece de 1000 a 4000 vezes a força gravitacional normal, reduzindo o tempo necessário para a separação de horas para segundos.

Uma centrífuga decanter é essencialmente um tubo que gira a uma velocidade extremamente alta. Como resultado da força centrífuga, os sólidos – mais pesado – são depositados na parede interna do tambor. Para tornar o equipamento contínuo, dentro do tambor é instalada uma rosca que gira com velocidade diferente, e esta velocidade diferencial faz que, em relação da parede do tambor esta rosca se movimente em direção de uma extremidade, coletando e depois descarregado os sólidos separados. O líquido que ocupa a espaço mais perto do eixo da rotação, é enviado ao lado posto, em direção a uma tubulação coletora. A corte de uma centrífuga decanter típica está visualizado na Figura 8.

A Andritz fornece centrifugas decanters para diversas aplicação nas indústrias química, alimentícia e farmacêutica, e também equipamentos otimizados para a desidratação do lodo biológico, ou de lodo físico químico nas Estações de Tratamento de Efluentes. (Figura 9)

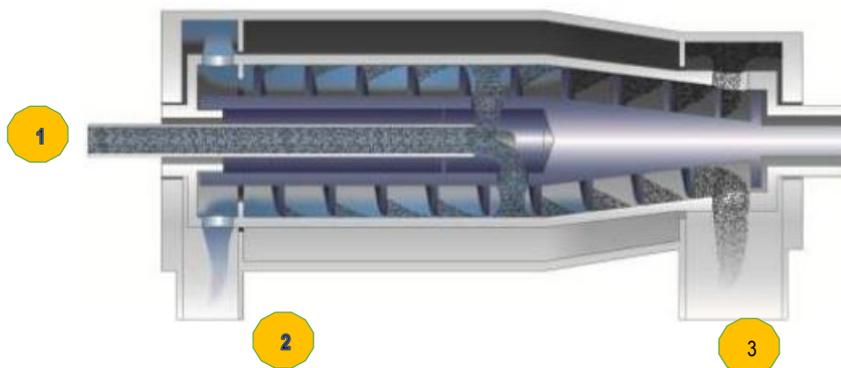


Figura 8.: Corte típico do decanter centrífuga. 1- Alimentação do lodo; 2- Descarga de líquido clarificado; 3 – Descarga de sólidos (torta)



Figura 9: Decanter centrífuga Andritz instalado numa estação de tratamento de esgoto

Entre as vantagens do decanter centrífugo estão o funcionamento contínuo; alta eficiência, possibilidade de reuso de água clarificada e a fácil automação. Como é um sistema compacta é a melhor opção para ETEs com produção de grande volume de lodo. Equipamento completamente fechado, facilitando o controle de odores.

No outro lado a centrífuga decanter é um equipamento com alto consumo de energia de alta demanda de manutenção cara, e de alto nível de ruído.

A comparação entre as tecnologias principais de desaguamento mecânico está resumido na Tabela 1. (Andritz 2016)

Temos que lembrar, que a utilização do filtro do vácuo rotativo – existente em grande escala nas usinas de açúcar e álcool – foi uma das primeiras tecnologias aplicadas para o desaguamento de lodos de águas residuais municipais. No entanto, o seu emprego entrou em declínio na área do saneamento devido ao elevado consumo de energia e à menor eficiência, quando comparado com processos de desaguamento mais modernos (Gonçalves *et al.*, 2014); e por este motivo, não foi incluído nesta comparação.

Tabela 1: Comparação entre as principais tecnologias de desaguamento mecânico.

	Centrifuga Decanter	Prensa Desaguadora	Filtro Prensa	Prensa Parafuso "C-Press"
Investimento necessário (+ = menos ; ++++ = mais)	++	+	++++	+++
Instalação (+ = simples ; ++++ = complexo)	+	++	++++	++
Equipamentos auxiliares necessários (+ = menos ; ++++ = mais)	+	++	++++	+
Secagem (+ = menos % de sólidos ; ++++ = mais % de sólidos)	+++	+	++++	+++
Sistema contínua	Sim	Sim	Não	Sim
Automação	Fácil	Médio	Difícil	Médio
Consumo de polímero	Médio/Alto	Médio	Médio	Médio/Alto
Custo de manutenção	Alto	Médio	Médio	Baixo
Facilidade de treinamento ao equipe de operação e manutenção	Treinamento específico	Fácil	Fácil	Treinamento específico
Espaço necessário para instalação (+ = pequeno ; ++++ = grande)	+	++	++++	+++
Consumo de energia (KW/ tonelada de sólidos secos)	Alto (30 – 60 KW/TDS)	Baixo (10 – 25 KW/TDS)	Médio (20 – 40 KW/TDS)	Muito baixo (< 10 KW/TDS)

4. MÉTODO SUGERIDO DA ESCOLHA DA TECNOLOGIA PARA DESAGUAMENTO MECÂNICO

A decisão por uma ou outra tecnologia de desaguamento de lodo raramente baseia em análise técnica crítica. Muitas vezes, os responsáveis pelo tratamento usam tabelas de comparação similares que apresentamos na seção anterior, focando somente num ou no outro critério. As “garantias” oferecidas pelo fornecedor também tem peso na decisão da escolha, já que o responsável pela escolha do equipamento não possui o conhecimento técnico suficiente para avaliar os dados apresentados.

Uma análise tecnológica sobre desaguamento mecânico de lodo, usando métodos multiobjectivo e multicritério foi elaborada na ETE Brasília Sul, operada pela companhia de Saneamento Ambiental do DF – CAESB. Quatro dimensões foram consideradas na metodologia proposta: econômica, ambiental, social e técnica. Essas dimensões foram desdobradas em vinte e três critérios de avaliação das alternativas de desaguamento de lodo. Os dados necessários para a análise foram adquiridos por meio da consulta aos especialistas e operadores da ETE. (Vanzetto, 2012). As quatro alternativas, neste caso, que apresentaram maior preferência foram, na ordem, a prensa parafuso, centrífuga, bag de geotêxtil e leito de secagem.

O Manual do Projetos da EPA (1987), apresentou um procedimento para a seleção das tecnologias do tratamento do lodo. Esta estratégia, aplicável tanto para estações já existentes, como para novos projetos, inclui até de cinco etapas, como está ilustrado na Figura 10.

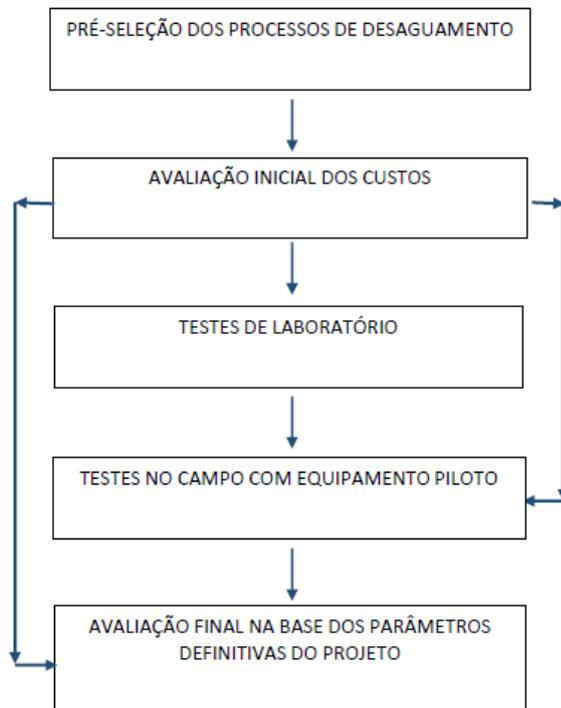


Figura 10.: As cinco etapas de seleção de um sistema de desaguamento de lodo.

A primeira etapa é a pré-seleção dos processos de desaguamento e tem como objetivo a eliminação dos processos tecnicamente incompatíveis, mesmo antes da consideração da análise dos custos.

A segunda etapa é a avaliação inicial dos custos. Com base nas melhores estimativas de design e de critérios operacionais para os processos de desaguamento viáveis, deve ser realizado esta avaliação inicial dos custos. Em alguns casos, podemos considerar 10 a 20 alternativas completas de processamento de sólidos – incluindo as alternativas de disposição ou utilização na agricultura, co-processamento, etc. Estas alternativas podem incluir 4 a 5 processos de desaguamento; em geral, não mais de 3 a 5 das alternativas de menor custo são selecionadas para a avaliação mais detalhada.

A terceira etapa é da fase de testes de laboratório; a quarta é os testes com equipamento piloto. O objetivo é a levantamento ou confirmação de dados técnicos e a os parâmetros operacionais aplicados no dimensionamento dos equipamentos.

A quinta etapa é avaliação final na base dos parâmetros definitivas do projeto. O trabalho inclui a “scale-up” e preciso o dimensionamento do equipamento que é realizado pela equipe dos engenheiros do projeto, com a ajuda do fabricante do equipamento. Nesta etapa, as estimativas do custo de capital, o trabalho, dos insumos (produto químico, água etc.), da energia, e da manutenção já podem ser refinadas. A informação levantada nas fases anteriores pode ser complementada com dados de outras plantas usando o mesmo processo. A pesquisa dos relatórios de outras plantas, incluindo o desempenho de equipamentos, e o registro de ocorrências de manutenção é altamente recomendada. Esta etapa conclui com a seleção de processo de desaguamento e, em muitos casos, a indicação da fabricante.

Em muitos casos, o total custo anual de dois ou mais sistemas de tratamento de sólidos são praticamente os mesmos ($\pm 10\%$), e a decisão deve ser feita em base de algum outro aspecto, além do custo. Frequentemente, essa decisão é baseada no menor custo “opex”, facilidade operacional de equipamentos, requisitos energéticos, no melhor desempenho ou nos outros fatores, como a experiência com equipamento similar. Este último pode ser definitivo por causa do forte “rejeição” dos operadores da planta, porém, isto deve ser considerado com muito cuidado, pois pode ser o resultado de frustração com um equipamento obviamente mal dimensionado ou inadequado para as características do lodo.

Na maioria dos projetos não há condições fazer testes com equipamento piloto, nem mesmo testes de bancada em laboratório: isto é a realidade caso uma estação completamente novo, sem amostra disponível ainda. Mesmo quando o projeto trata a ampliação de um ETE existente, o teste piloto é considerado como “mais um custo”, e por falta da verba ignoram a quanta etapa. A maioria dos relatórios de estudos comparativos com equipamentos piloto diferentes foi publicado nos EUA, onde – muito corretamente – os custos com testes piloto, a “busca da certeza” é considerada como investimento que certamente retornará em forma de evitar custos futuros desnecessários devido dos eventuais erros do de seleção ou dimensionamento dos equipamentos.

Por causa dos motivos acima, aparecem os “atalhos” na Figura 10. Como muitas vezes não existe a possibilidade de fazer qualquer teste, e não há tempo e verba para fazer uma análise tecnológica, usando métodos multiobjectivo e multicritério; o “fator de acerto” fica muito importante nas primeiras duas etapas, já que as decisões tomadas podem diretamente determinar o projeto do desaguamento. Na próxima parte, gostaria de resumir, quais são as informações necessárias para a tomada de decisão tecnicamente correta, já nestas primeiras etapas, quando escolhemos uma tecnologia de desaguamento mecânico de lodo.

Como em caso de qualquer outra decisão que tomamos na vida, para ter a maior chance de acertar uma decisão, temos que enxergar a resposta para três perguntas principais: onde estamos; aonde queremos chegar; e quais são os caminhos que podemos seguir. No caso de tratamento do lodo a primeira pergunta pede como resposta a determinação das características quantitativas e qualitativas do lodo, e a descrição do processo do tratamento existente. A resposta para a segunda pergunta depende, entre outros, das exigências da legislação, e as expectativas de cliente sobre OPEX e CAPEX. A terceira resposta já é limitada pelas duas primeiras, e ainda temos que considerar as particularidades locais, como a eventual proximidade de residências, horário de trabalho e a qualidade de mão de obra, e espaço físico disponível.

4.1. PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA A ESCOLHA DO SISTEMA E O DIMENSIONAMENTO DO LODO

Para a dimensionamento do sistema é necessário levantar as seguintes informações qualitativas e quantitativas do lodo a ser desidratado:

- Produção do lodo: quantidade de sólidos, vazão e concentração. Dados sobre eventuais variações sazonais.
- Origem do lodo: descrição do processo que gera o lodo, e determinação exata dos pontos, de onde o lodo será enviado. Caso está disponível, anexar o fluxograma do tratamento.
- Características físico químicas do lodo: concentração de sólidos totais, dos sólidos em suspensão, dos sólidos voláteis, condutividade, densidade, índice volumétrico de lodo, pH.
- Descrição do equipamento de desaguamento já existente, caso aplicável, informando a capacidade e a eficiência do mesmo, tanto como o tipo, e consumo dos coagulantes e floculantes.

4.1.2. PRODUÇÃO DO LODO

Qualquer equipamento de desaguamento mecânico é caracterizado pela capacidade hidráulica e pela capacidade mássica; esta última determina a quantidade de sólidos que o equipamento pode receber. Muitas vezes, um destes parâmetros é o “fator limitante” do sistema, deixando uma certa margem, flexibilidade para a outra.

Em caso de estações de tratamento já existentes, por exemplo, quando o objetivo é substituir um equipamento já existente, o levantamento real da produção do lodo é possível, conhecendo a quantidade descartada ou transportada para aterro sanitário. Para estações novas, em fase de projeto, não temos estes dados, porém, é possível calcular a produção do lodo previsto.

No mesmo equipamento, a capacidade mássica pode ser diferente para cada tipo de lodo, por isso, para a escolha correta do equipamento, a primeira informação essencial é a descrição detalhada do processo que gera o lodo e a determinação exata dos pontos de retirada do lodo em excesso. Considerando as diferenças dos processos que geram estes lodos, os métodos de cálculos de produção são diferentes para cada tipo de lodo.

O objetivo do tratamento primário é diminuir a carga orgânica no tratamento biológico ou físico-químico consecutivo através a remoção de poluentes sólidos finos, que passam o gradeamento e o removedor de areia, usando processos físicos como a sedimentação ou por flotação de ar dissolvido. Esta definição é válida tanto para o tratamento de esgoto doméstico, como para o tratamento de efluentes industriais. Estimar a produção do lodo primário é relativamente simples: precisamos conhecer a concentração de sólidos no efluente bruto, a vazão do efluente e a eficiência da remoção.

Em caso do esgoto doméstico, a concentração de sólidos em suspensão geralmente está na faixa de 0,1 a 0,3 kg/m³, e a eficiência de remoção no decantador primário é de 60 %, aproximadamente. Algumas tecnologias de tratamento de esgoto, como a aeração prolongada ou tratamento por reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), não requerem sedimentação primária.

Em caso de efluentes industriais, a concentração de sólidos em suspensão, e a eficiência de remoção é bem diferente, e muitas vezes usam flotação de ar dissolvido em lugar de sedimentação, com aplicação de flocculantes orgânicos, garantindo assim as vezes eficiência de remoção de acima de 90 %.

Quando o tratamento primário está combinado com adição de coagulantes inorgânicos, como em caso de tratamento primário quimicamente assistido (CEPT), o cálculo da produção do lodo fica igual do procedimento aplicado para o tratamento físico químico: temos que considerar o aumento de produção de lodo por causa da formação dos hidróxidos e por causa de eventual precipitação de poluentes dissolvidos. A eficiência de separação também aumenta significativamente.

O objetivo de tratamento secundário é remover os poluentes dissolvidos, através processos biológicos ou por físico-químicos.

Em sistemas de tratamento de efluentes por processos biológicos, há uma massa de microrganismos responsáveis pela degradação ou estabilização da matéria orgânica. Estes microrganismos usam o material orgânico tanto como fonte de material para a construção de seu material celular, como também de fonte de energia, e lodo em excesso derivado do tratamento biológico é composto pelas células destes microrganismos - principalmente de bactérias. Como o crescimento da massa de lodo

é proporcional com a matéria orgânica metabolizada – medido como DQO ou DBO5 removido –, o cálculo de produção do lodo pode ser feito na base de DBO ou DQO removido, considerando a coeficiente de rendimento (van Haandel e Marais, 1999):

$$Y = - \Delta X_v / \Delta S_{met} \quad (1)$$

Onde:

Y = coeficiente de rendimento (-).

ΔX_v = massa bacteriana (lodo em excesso) gerada (kg)

ΔS_{met} = massa de matéria orgânica (DQO ou DBO5) metabolizada (kg)

O fator de crescimento não depende da natureza do material orgânico, mas sim, do processo de tratamento aplicado. Processos aeróbios geram uma quantidade de lodo bem maior que os processos anaeróbios. Dos sistemas de tratamento de esgoto, as lagoas de estabilização são as que geram a menor quantidade de lodo, ao passo que os lodos ativados convencionais são os sistemas com a maior volume de excesso de lodo, que deve ser tratado. (Pedroza et al., 2010)

Em caso de estações de tratamento de esgoto sanitário, podemos estimar a produção de lodo, conhecendo a tecnologia de tratamento, e o número de habitantes atendidos, já que estatisticamente cada habitante contribui em torno de 0,1 kg DQO por dia. Os coeficientes de crescimento e a massa estimativa de lodo produzido por habitantes foram publicados em várias literaturas; um resumo amplo e critico foi publicado pelo von Sperling e Gonçalves. (2014) (Tabela 2.)

Tabela 2: Estimativa de lodo produzido em vários sistemas de tratamento de esgotos

Sistema de tratamento	Quantidade estimada de lodo produzido	
	Coeficiente de rendimento	Produção de massa de lodo
	(kg SS / kg DQO)	(g SS/ hab.d)
Tratamento primário (Convencional)	0,35 – 0,45	35 - 45
Tratamento primário (Tanques sépticos)	0,2 – 0,3	20 - 30
Lagoa facultativa	0,12 - 0,32	12 - 32
Lagoa anaeróbia e lagoa facultativa (total nas duas lagoas)	0,26 – 0,55	25 -55
Lagoa aerada facultativa	0,08 – 0,13	8 - 13
Lagoa aerada com mistura completa com lagoa de sedimentação	0,11 - 0,13	11 - 13
Tanque séptico com filtro anaeróbio consecutivo (total)	0,27 – 0,39	27 - 39
Lodo ativado convencional (primário e secundário total)	0,6 – 0,8	60 - 80
Lodo ativado – aeração prolongada	0,4 - 0,45	40 - 55
Filtro biológico de alta carga (primário e secundário total)	0,55 - 0,75	55 - 75
Biofiltro aerado submerso (primário e secundário total)	0,6 – 0,8	60 - 80
Reator UASB (RALF, RAFA etc.)	0,12 – 0,18	12 - 18
Reator UASB com pós tratamento aeróbio (total)	0,2 – 0,32	20 - 32

Em caso de tratamento físico químico, a produção do lodo pode ser estimada na base de concentração de sólidos no efluente bruto e da dosagem dos produtos químicos aplicados no tratamento.

Nas estações de tratamento de água, a produção pode ser calculada considerando a qualidade de água bruta (sólidos em suspensão, turbidez, cor) e a dosagem de produtos químicos (sulfato de alumínio, PAC, carvão ativado, etc.). Várias formulas já foram publicadas para calcular a produção do lodo numa ETA, porém a mais prática é o seguinte (Richter, C.A., 2001):

$$S = \frac{(0,2C + k_1T + k_2D)}{1000} \quad (2)$$

Onde:

S = massa de sólidos secos precipitada (kg/m^3 de água tratada)

C = cor da água bruta ($^\circ\text{H}$)

T = turbidez da água bruta (NTU)

D = dosagem de coagulante (mg/l)

O coeficiente k_1 é a relação entre o sólidos suspensos totais e turbidez, podendo variar entre 0,5 e 2,0, sendo que os valores mais baixos correspondem a águas de baixa turbidez (material coloidal com alto teor orgânico), e os mais altos, a águas de turbidez elevada (areia fina). Valor usual, que pode ser utilizado na maioria das situações: $k_1 = 1,3$.

O coeficiente k_2 corresponde à relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido e depende do coagulante utilizado, por exemplo:

- Usando sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$): $k_2 = 0,26$

- Usando sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$): $k_2 = 0,54$

- Usando cloreto férrico (FeCl_3): $k_2 = 0,40$

Em alguns casos existe uma variação sazonal do volume de lodo, por exemplo nas estações de tratamento de esgotos de cidades turísticas, onde a geração do esgoto, e conseqüentemente, do lodo é muito maior no período das férias.

Outro caso típico da variação sazonal é produção de lodo nas estações de tratamento de água, onde a captação da água bruta está feita no leito de rio. Na época da chuva, a turbidez da água bruta é mais elevada; e conseqüentemente, a dosagem de coagulantes e outros produtos químicos é também maior, que resulta maior produção do lodo, conforme a equação (2). Estas informações determinam diretamente, quantas equipamentos devem ser instalados em paralelo; a necessidade de equipamento em reserva, acima da vazão máxima; e a cronograma da manutenção preventiva ou preditiva. A variação sazonal pode ser observada também na qualidade de lodo. Nos

meses de verão, com a temperatura mais quente, o crescimento das algas é maior, aumentando a fração orgânica (sólidos voláteis) do lodo. Em casos extremos, no desaguamento mecânico é necessário usar polieletrólito diferente no verão e no inverno.

4.1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DO LODO

Os parâmetros convencionais de caracterização do lodo podem ser divididos em três grupos:

- Parâmetros físicos, que fornecem informações sobre a tratabilidade e sobre as possibilidades do manuseio do lodo;
- Parâmetros químicos, que fornecem informação da composição química, como presença de nutrientes, e/ou componentes tóxicos e perigosos;
- Características biológicas, que fornecem informações sobre a atividade microbiológica e sobre a presença de patogênicos.

Os parâmetros químicos e biológicos são muito importantes para determinar o destino final do lodo, como disposição ou reuso no agrícola, são indiferentes, porém, quando escolhemos, ou dimensionamos um sistema de desaguamento mecânico. (ISWA Working Group, 1997). Para esta finalidade, consideramos, principalmente os parâmetros físicos, e alguns características químicas como pH ou fração de matéria orgânica.

4.1.3.1. Concentração dos sólidos

Como o lodo é composto por sólidos e por água, a concentração de sólidos é o parâmetro mais importante na caracterização do lodo, após a quantidade, é o próximo “campo obrigatório” nos questionários dos fornecedores dos equipamentos. Existe, porém, uma grande possibilidade de “desentendimento”, que pode provocar um grande erro no projeto. Para o fim de cálculo de capacidade das máquinas, precisamos a concentração em massa, determinada com métodos gravimétricos (veja a norma NBR 10664). Muitas vezes os clientes informam a quantidade de sólidos sedimentáveis, determinada em cone Imhoff (NBR 10561) que também é uma informação importante, mas não pode ser usado para o dimensionamento dos equipamentos.

Com as máquinas de desaguamento mecânico, podemos separar os componentes dos sistemas heterogêneos: a fase sólida em suspensão do líquido, mas sólidos dissolvidos, não. Por esta razão, principalmente em caso de lodo proveniente de tratamento de efluentes industriais, não é suficiente determinar somente a concentração de sólidos totais (ST), precisamos saber a concentração de sólidos em suspensão totais (SST), e dos sólidos dissolvidos (SD; diferença entre os sólidos totais e sólidos suspensos totais). Caso de lodo do esgoto sanitário, proveniente de ETE que não recebe efluentes industriais, a diferença entre ST e SST geralmente muito pequena, usar somente o valor de ST não resulta diferença significativa no dimensionamento.

A alta concentração de sólidos dissolvidos pode resultar o peso específico da fase sólida e até inibir a floculação, assim dificultar a separação eficiente por centrifugação. Dependendo dos materiais dissolvidos, o líquido pode ser considerado corrosivo, como em caso de presença de cloreto.

Indiretamente, a medição de condutividade do lodo também oferece informação sobre a quantidade de sólidos dissolvidos inorgânicos, como sais.

Pela norma, a determinação de sólidos totais, e sólidos suspensos totais é feito através a evaporação de água em 105 °C. Colocando a amostra de lodo já seco num forno mufla ajustada em 550 °C, podemos determinar a concentração de sólidos fixos, que são as “cinzas residuais” após a “queima” de material orgânico, e calcular os sólidos voláteis como a diferença de sólidos totais e sólidos fixos. A relação entre os diferentes tipos de sólidos está visualizada na Figura 11.

A relação entre os sólidos voláteis e sólidos totais (SV/ST) indica a fração orgânica dos sólidos do lodo. Em lodos não digeridos, proveniente de sistema aeróbio convencional, esta relação é normalmente 0,75 a 0,8, mas lodo de baixa IVL, pode ser SV/ST acima de 0,8. Como durante a digestão anaeróbia ou aeróbia uma parte dos sólidos orgânicos biodegradáveis são consumidos, mas a quantidade de sólidos fixos permanece inalterada, os valores do SV/ST no lodo digerido são baixos, situam-se entre 0,6 e 0,65. Podemos dizer, que os lodos digeridos são “mais mineralizados”.

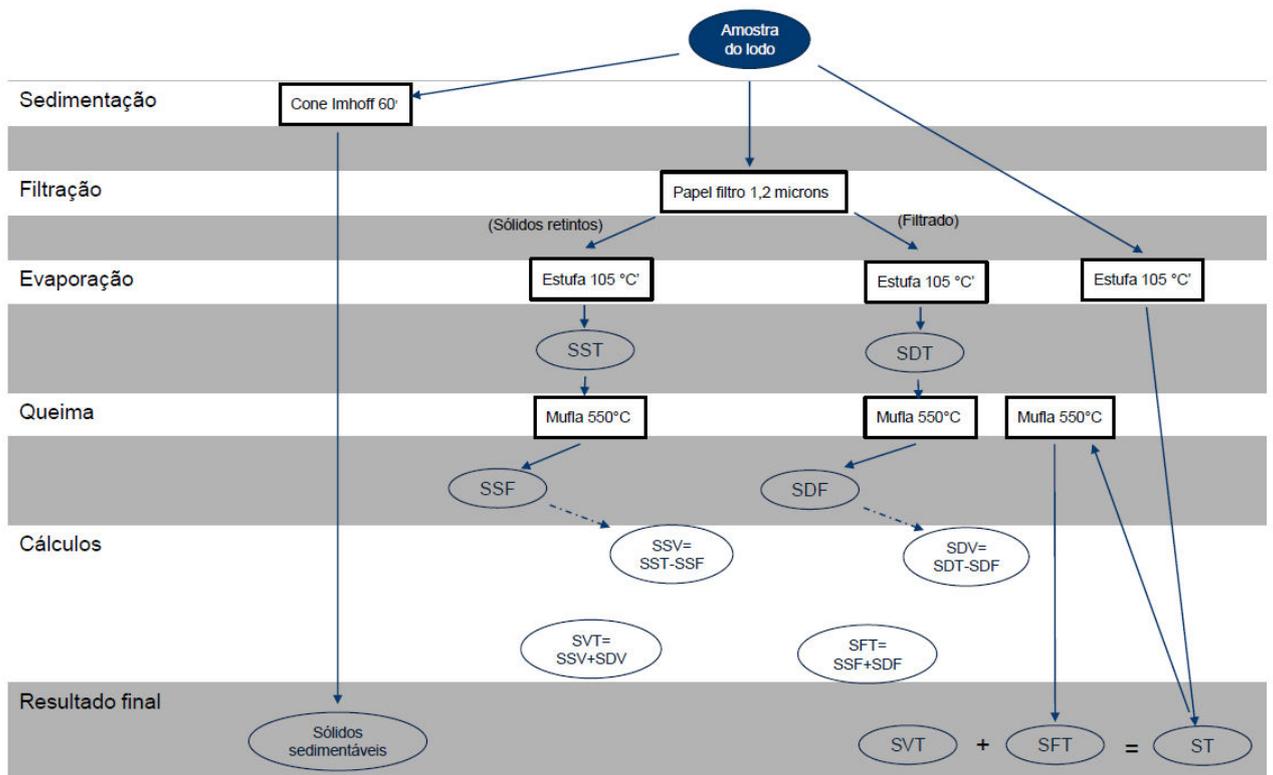


Figura 11.: Classificação de sólidos na base de metodologia de determinação. Modificação da esquema publicada por Tchobanoglous e Schroeder (1985) na base de experiência em práticas laboratoriais.

A maioria dos laboratórios dos ETEs possui alguma facilidade, para a determinação dos sólidos totais, por exemplo analisador de umidade (popularmente chamado como “balança infravermelha”), mas não podemos falar o mesmo da disponibilidade de equipamentos necessários determinar os sólidos suspensos, ou mais ainda fixos e voláteis. Conhecer a relação de SV/ST, porém é muito importante, porque em função deste valor podemos estimar alguns parâmetros de desempenho do desaguamento mecânico:

A - O tipo e dosagem de polieletrólito aplicado é depende da relação do SV/ST: geralmente, maior é o valor de SV/ST, um polieletrólito com maior densidade de carga é necessário para promover a floculação eficiente; e – considerando o mesmo polieletrólito – maior a dosagem específica em kg matéria ativa/ tonelada de sólidos secos. Estas tendências claramente foram observadas tanto nas prensas desaguadoras, como durante a operação de decanter centrífuga.

B – Em caso de lodo proveniente de tratamento biológico, a relação de SV/ST ajuda estimar a concentração sólidos que pode ser alcançada na torta de lodo. A tendência que menor foi a valor de SV/ST, maior será a concentração na torta após a desaguamento mecânico, é conhecido desde o começo os anos 80, é aplicado, principalmente para determinar o nível ótimo de digestão do lodo biológico em excesso (Figura 12., USEPA, 1979). A mesma tendência foi observada para lodo primário e lodo secundário, não digerido, e confirmada mesmo com estudos recentes (Skinner et al., 2015). Alguns fornecedores de equipamentos (Andritz, Flottweg) grandes usuários também consideram a relação de SV/ST como parâmetro de e algumas dimensionamento (NTS 287, 2011). De fato, a relação de SV/ST dá uma orientação confiável, principalmente, quando se trata a aplicação de equipamento contínuo (Prensa desaguadora, C- Press, e centrífuga decanter) para lodo de tratamento convencional de esgoto, ou efluente industrial, mas existem alguns casos, quanto não podemos usar como valor de referência:

- a. Em caso de tratamento físico químico de efluentes, e de água. Neste caso, a o resultado final do desaguamento depende mais das características físico químicas do efluente ou água bruta e do tipo e da quantidade de produtos químicos usados no tratamento físico químico.
- b. Em caso de lodo com relativamente alta concentração de materiais (sais) dissolvidos. O material dissolvido aumenta o peso específico do líquido, assim dificulta a separação de sólidos por centrifugação. Os compostos dissolvidos que aumentam a viscosidade do líquido, tem efeito negativo tanto para a filtração como para a centrifugação.
- c. Em caso de presença de fibras curtas orgânicas no lodo. As fibras de celulose fazem parte dos sólidos voláteis, mas ajudam na “secagem” da torta, assim podemos obter torta com concentração mais elevada, que foi previsto na base de relação SV/ST. Este fenômeno é bem comum nos lodos provenientes de tratamento de efluentes de fábricas de papel e celulose.

- d. Em caso de presença predominante de microrganismos filamentosos, a desaguamento fica comprometido e a torta vai retém mais umidade.
- e. Em caso de aplicação de coagulantes inorgânicos. Os coagulantes inorgânicos, devido a dosagem elevada, diminuem a relação SV/ST e, no outro lado, a alteração súbita do pH modifica as características superficiais das partículas do lodo; e por estas razões, o resultado sempre é uma torta mais “seca”.

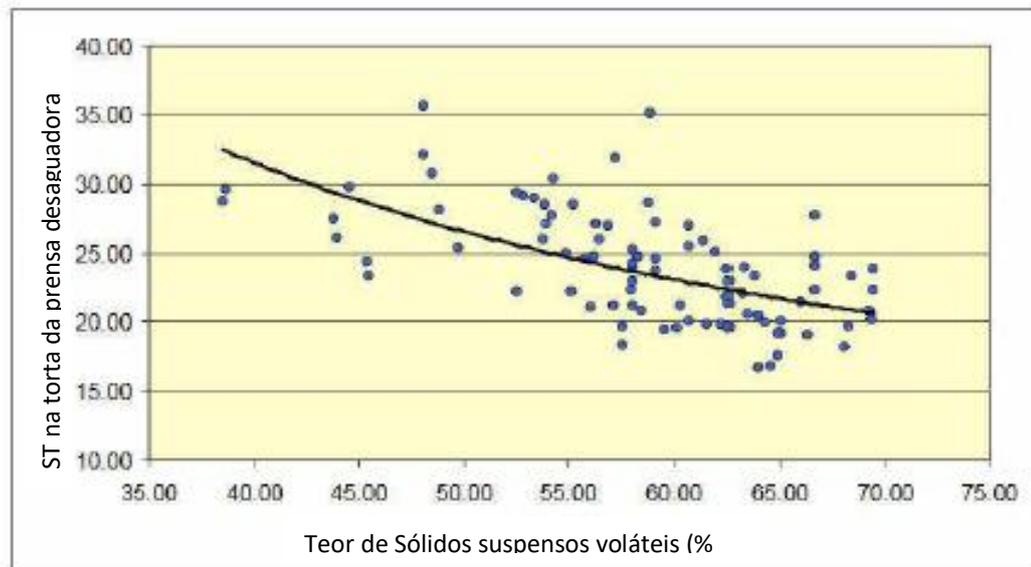


Figura. 12 Relação entre o teor de Sólidos suspensos voláteis ($SSV\% = SSV/SST \cdot 100$) e a concentração de sólidos na torta após a desaguamento mecânico. (Fonte: USEPA, 1979)

4.1.3.2. Peso específico, densidade

A diferença de peso específico entre a fase sólida e líquida determina a eficiência de separação por centrifugação, mas extremamente importante também no dimensionamento de filtro prensa tipo câmara ou membrana já que a determinação de volume exata de uma batelada é essencial para o resultado correto.

4.1.3.3. pH

O pH, na prática, informa, se um líquido é “ácido” ou “alcalino”. No tratamento do lodo, dependendo do pH, já podemos determinar o tipo de polieletrólito que pode ser utilizado: na faixa de pH elevada (> 8) somente os polieletrólitos aniônicos podem promover a floculação eficiente.

Em caso de lodo proveniente de tratamento químico, como a precipitação de metais pesados, manter uma certa faixa de pH é essencial, já que a solubilidade de hidróxidos precipitados depende disso.

Como a resistência da corrosão dos materiais de construção das máquinas depende da combinação da pH, temperatura e da concentração de compostos que provocam a corrosão (cloro, por exemplo), o pH do lodo torna-se um “parâmetro obrigatório”, na fase de levantamento dos dados.

4.1.3.4. Viscosidade do lodo

Até a última década, a viscosidade e outras características reológicas do lodo foram praticamente ignorados, considerados “igual da água”. O comportamento reológico do lodo depende da origem e da concentração do mesmo. Em caso do lodo biológico proveniente de tratamento do esgoto podemos dizer que é um fluido pseudo-plástico (não-Newtoniano). Com baixas concentrações, podemos aplicar os cálculos adequados para escoamento turbulento dos fluidos Newtonianos, sem cometer erros significantes, mas o lodo adensado comporta se como um líquido “Ostwald pseudoplástico”, e em concentrações mais elevadas, acima de 7,5 %, como Bingham – plástico” (Papa, M. et al., 2015).

Como a viscosidade do lodo afeta a eficiência da filtração e da centrifugação, como o dimensionamento de tubulação caso o produto precisa ser bombeado, a determinação da viscosidade merece uma atenção maior no futuro.

4.1.3.5. Tamanho de partículas, granulometria

Durante o tratamento preliminar dos efluentes e esgotos, como a gradeamento e remoção de areia as partículas com dimensões maiores são removidas, estes não fazem parte do lodo.

A análise de distribuição granulometria de vários tipos de lodo mostram, que a maior parte das partículas em volume está na faixa de 1 a 100 microns, independente da origem do lodo. Como a presença de areia fina no lodo pode causar abrasão nas bombas e nos equipamentos do desaguamento, a quantidade de partículas maiores de 60 microns pode projetar uma previsão destes desgastes indesejáveis (Degrèmont, 2007).

4.1.4. TESTES DE BACADA E COM EQUIPAMENTOS EM ESCALA PILOTO

4.1.4.1. Índice volumétrico de lodo (IVL)

O Índice Volumétrico de Lodo (IVL) – citado na literatura internacional como SVI (sludge volume index) ou índice Mohlman, em homenagem do seu idealizador - é um parâmetro bem conhecido, utilizado para a quantificação da sedimentabilidade do lodo. Por definição e conceito, a dimensão do IVL é ml/g, é o volume em mililitros ocupado por 1 grama de lodo, base de sólidos secos, após sedimentação de 30 minutos.

A determinação do IVL é bastante simples: precisamos os dados de valor de sólidos sedimentáveis, e a concentração de sólidos determinados com método gravimétrico. O valor de IVL é calculado na base destes dois parâmetros:

$$IVL = \frac{V}{SST} \quad (3)$$

Onde:

IVL: Índice volumétrico de lodo (ml/g)

V: volume de sólidos sedimentáveis após 30 minutos de decantação (ml/l)

SST: concentração de sólidos suspensos totais (g/l)

O IVL tem sido aplicado largamente no controle do processo de lodos ativados, a interpretação dos resultados é feita na base dos seguintes critérios:

IVL < 50: muito pequenos	Potencial de formação de “pin-floc”, flocos
IVL entre 50 e 100 ml:	Boa sedimentabilidade, faixa ideal
IVL entre 100 e 150 ml/g: filamentosos	Indica o crescimento de micro-organismos
IVL entre 150 e 200 ml/g:	“Bulking” com vazões altas
IVL < 200 ml/g:	“Bulking”, problemas de sedimentação

O IVL normalmente é determinado com amostras tiradas no tanque de aeração, ou na entrada do decantador secundário; não é adequado para amostras com concentração de lodo acima de 2 %, já que o valor dos sólidos sedimentáveis do lodo concentrado fica muito perto do valor original da amostra, pois a sedimentação está inibida com estas concentrações.

No outro lado, é um parâmetro que deve ser observado, porque a concentração de sólidos nos lodos com IVL alto é mais baixo que podemos estimar na base de relação de SV/ST.

4.1.4.2. Ensaio de floculação

Dependendo da granulometria encontrada no lodo, na maioria dos casos é necessário adicionar coagulantes e floculantes, com o principal objetivo de aumentar o tamanho das partículas.

Para os fins de levantamento de dados para elaborar um projeto, não é suficiente a simples avaliação visual da floculação, muitas vezes classificado apenas como “bom, regular e ruim”. A quantificação da floculação é feita em maneira indireta, através a avaliação da mudança do resultado de algum parâmetro em função da dosagem de polieletrólito, como a velocidade de decantação, resistência específica de filtração, velocidade de drenagem ou turbidez do líquido separado.

Como um ensaio completo resultará um quadro com combinação de vários tipos de floculantes com dosagens diferentes, este envolve muito trabalho manual, e exige bastante tempo. Conhecendo a origem e as características físico químicas do lodo, podemos fazer uma pré-seleção do polieletrólito. Algumas orientações para a escolha de polieletrólito adequado e para a dosagem típica – baseadas em experiência própria nos testes de laboratório e de campo - são resumidos na Tabela 3.

Caso usamos coagulantes inorgânicos, temos que considerar que a dosagem é pelo menos 10 vezes maior que em caso de polieletrólitos, que vai causar um aumento significativo da quantidade de sólidos separados, e que cada coagulante inorgânico tem uma faixa de pH ótimo diferente (Tabela 4.)

Tabela 3: Tendências da compatibilidade de polieletrólitos para desaguamento de diferentes tipos de lodos

Descrição do lodo	Polieletrólito aplicado			Dosagem esperada (kg m.a./tSST)*	Observação
	tipo	Peso molecular	Densidade de carga		
Lodo primário	Catiônico	Alto	Média - alta	4 - 6	
Lodo primário quimicamente assistida	Catiônico	Alto	Baixa - Média	4 - 6	
Lodo secundário com VS/TS > 0,8	Catiônico	Alto	Alta	10 - 15	Maior a relação de VS/TS, maior é a densidade de carga requerida
Lodo secundário após digestão anaeróbia	Catiônico	Alto	Baixa	6 - 9	Menor a relação de VS/TS, menor é a densidade de carga requerida
Lodo secundário após digestão aeróbia/ lodo de sistema de aeração prolongada	Catiônico	Alto	Média- Alta	10 - 12	Menor a relação de VS/TS, menor é a densidade de carga requerida
Lodo aeróbio de MBR	Catiônico	Alto	Alta	10 - 12	Maior peso molecular e produto "cross link" é favorável
Lodo anaeróbio de reator UASB	Catiônico	Alto	Baixa - Média	6 - 9	
Lodo de tratamento físico químico de efluentes orgânicos: lodo de abatedouro ou de laticínio	Catiônico, "cross-link"	Alto	Alta	12 - 16	Para melhorar o efeito, o ajuste do pH neutro é necessário!
Lodo físico químico inorgânico com pH alcalino, por exemplo de galvanoplastia	Aniônico	Médio - Alto	Alta	2 - 5	Maior a pH, maior é a densidade de carga requerida
Lodo físico químico inorgânico com pH ácido.	Não iônico	Médio - Alto	-	3 - 5	
Lodo de lavador de gases (pó de carvão)	Não iônico	Médio - Alto	-	2 - 3	
Lodo de tratamento de água de rio (água bruta com NTU alto)	Aniônico	Médio - Alto	Alta	2 - 5	
Lodo de tratamento de água de represa (água bruta com algas)	Catiônico	Alto	Baixa	5 - 9	Depende muito da origem da água e do tratamento. Pode ser polieletrólito aniônico ou não iônico, é preciso fazer os testes.
Lodo de remoção físico químico de manganês e ferro da água	Aniônico	Alto	Alta	+/- 8	
"Dregs" de fábrica de celulose	Aniônico	Alto	Média - Alta	4 - 6	O líquido de "dregs" é uma solução saturada de sais dissolvidos.
Rejeitos de mineração	Aniônico	Alto	Média- Alta	1 - 2	Depende do pH e do tipo do minério.

*Observação: A dimensão de dosagem específica de polieletrólito é em kg de matéria ativa por tonelada de sólidos em suspensão. A concentração de matéria ativa em polieletrólitos em pó é de 80 a 98 %, em produtos em emulsão é de 30 a 50 %. Em caso de lodo de esgoto, com pouco material dissolvido podemos usar o valor de sólidos totais nos cálculos, mas esta prática em caso de lodos industriais e "dregs" causa erros significativos.

Tabela 4: Efeito de pH nos coagulantes inorgânicos

Coagulante	Faixa de pH	
	Aplicável	Ótimo
Sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$)	de 4,0 a 11,0	de 5,0 a 7,0
Policloreto de alumínio (PAC)	de 4,5 a 10,5	de 5,5 a 7,5
Cloreto férrico ($FeCl_3$)	de 3,5 a 12,0	de 3,5 a 6,5 e acima de 8,5
Sulfato ferroso ($FeSO_4$)	Acima de 8,5	Acima de 8,5

4.1.4.3. Testes de filtração e de centrifugação

A simulação dos processos em escala pequena através testes de bancada é muito importante para a comparação preliminar das tecnologias adotadas, para escolher coagulantes e floculantes, e determinar os melhores parâmetros e condições para direcionar o planejamento dos testes em escala piloto. Não podemos usar, porém, os parâmetros obtidos para o dimensionamento de equipamentos: para esta finalidade os resultados dos testes em escala piloto são mais confiáveis.

Em caso de desaguamento de lodo por filtração, tanto com a aplicação de filtração por vácuo, como de filtração por pressão, acumula-se gradualmente um bolo de sólidos sobre o meio filtrante, e este bolo faz a filtração. O objetivo dos testes de filtração normalmente é a determinação de resistência específica desta torta ao fluxo (Ripperger, S., et al., 2012). A resistência específica é um parâmetro utilizado para descrever a filtrabilidade de lodo (Christensen, 1983), e tal parâmetro possibilita a escolha apropriada de coagulantes e floculantes e a determinação de outros parâmetros operacionais da filtração.

De qualquer maneira, estes testes são conduzidos por pressão ou vácuo controlado, com área de filtragem constante, e determinando o volume de filtrado coletado ao longo do tempo (dV/dt). Dependendo da área de filtro aplicado este teste necessita uma considerável quantidade de amostra e aparelhagem sofisticada para a determinação exata da quantidade de filtrado.

Existem métodos simplificados de teste de filtração, que fornecem dados mais rápido e usando somente uma pequena quantidade de amostra, como a determinação de "Capillary Suction Time" (CST, Figura 13) (Eckenfelder Jr., 1981). Este é um ensaio simples: mede-se o tempo de escoamento do líquido liberado da amostra entre dois círculos concêntricos sobre um papel filtro padrão. Os resultados dependem da concentração de sólidos e da temperatura, mas podemos usar para os fins de comparação dos resultados de condicionamento de lodo, como para a escolha de

melhor polieletrólito e a dosagem: menor é o tempo medido no aparelho CST, melhor é o condicionamento do lodo.



Figura 13.: “Capillary Suction Timer” da OFI Testing Equipment Inc., usado em laboratórios da Andritz.

Um método de simulação de centrifugação em laboratório foi descrito por Reali (1999). O procedimento resume-se nos seguintes passos:

- a. Determinação de sólidos suspensos totais (SST) na amostra original através métodos gravimétricos.
- b. Adicionar solução de polieletrólito devidamente preparado em volumes diferentes para volumes iguais de amostra de lodo. Com mistura controlada, promover a floculação; e calcular a concentração de sólidos considerando o volume de polieletrólito adicionando.
- c. Centrifugar cada amostra floculada em diferentes intervalos de tempo – o procedimento sugere 10, 20, 40 e 60 minutos. Repetir a centrifugação em rotações diferentes.
- d. Avaliar o resultado da centrifugação através a leitura do volume ocupado pela fase sólida, e calcular a concentração final de SST em cada torta. Por meio da comparação entre os diversos valores de SST obtidos, é possível avaliar a dosagem, melhor; o que fornece o maior grau de remoção de água do lodo.

O método acima descrito realmente aplicável para escolher o tipo e da dosagem de polieletrólito, porém, muito mais “trabalhoso” que a aplicação de CST que fornece a mesma informação.

No outro lado, este método sugerido é inadequado para obter qualquer parâmetro que pode ser usado no dimensionamento de centrífuga decanter. O primeiro grande desvio é que usa centrífuga de tubos, operando em bateladas, enquanto a centrifugação em escala industrial é um processo contínuo: o lodo entra num equipamento em movimento, e tanto a torta de lodo, como o líquido clarificado sai do tambor ainda sob efeito da força centrífuga. Para usar uma centrífuga de bancada para uma simulação - mesmo apenas aproximado - do decanter centrífuga, temos que estabelecer alguns critérios para o equipamento e da metodologia utilizados para esta finalidade.

Em primeiro lugar, sugiro usar tubos de centrifugação – com preferência graduados – de pelo menos 50 ml de volume. Tubos menores possuem diâmetro muito pequeno, assim a transferência do lodo bem flocculado com flocos grandes ficará difícil e não poderemos manter a concentração de sólidos uniforme nos tubos. Como o volume obtido da torta na faixa de concentração de lodo adequado para a aplicação do decanter vai estar entre 10 e 40 % (em volume) da amostra original, não é necessário usar tubos com fundo cônico. Dependendo do diâmetro do tambor do decanter, eles trabalham com força-G entre 1500 a 4000 G, então a centrífuga de bancada deve ser capaz de trabalhar nesta faixa, mas alcançar pelo menos de 3500 G, com rotor basculante. Rotores angulares – apesar de que permitem trabalhar com maior força-G, são inadequados para simular os centrifugas decanters!

O tempo de retenção hidráulica nos decanters em escala real é menos que um minuto, então precisamos simular a centrifugação com um tempo similar. Sugiro fazer o teste centrifugação em dois tempos diferentes: por 1 minuto, e por 30 minutos. Este segundo servirá como referência de “separação completa”. O resultado da centrifugação será positivo, se o teste de um minuto resulta um volume de torta e qualidade de clarificado semelhante da referência. Caso isso não acontece, devemos repetir a centrifugação por 2 e se necessário, por 3 minutos. Se esta última centrifugação não produz resultados semelhantes da referência, o uso de decanter centrífugo deve ser descartado, como alternativa. Para simular estes tempos curtos de centrifugação, a centrífuga de bancada deve alcançar a rotação máxima em 15 segundos, no máximo. Existem poucas centrifugas de bancada disponíveis, que atendem este requisito.

A concentração medida ou calculada na torta obtida durante da centrifugação, não pode ser usada como referência para estimar a concentração na torta do decanter. Dentro do tambor do decanter os sólidos separados são transportados pela rosca interna fora do nível do líquido livre ainda sob a “pressão” provocada pela força centrífuga, aumentando assim o nível de secagem. Num tubo, a fase sólida ficará em contato com o líquido, mesmo quando a centrífuga para. Consequentemente, a torta absorve de volta a parte de líquido, removida durante a centrifugação. É interessante observar a consistência da torta obtida – independentemente da concentração: se esta torta é aparentemente “firme” pode ser removido do tubo como um único pedaço, é muito provável que a torta não terá problemas no transporte interno pela rosca no tambor. Caso a torta é “grudenta”, difícil remover, isso indica que a descarga do

mesmo pode ser comprometida durante a operação. Neste caso é aconselhável pesquisar outros coagulantes e floculantes.

O único parâmetro que podemos considerar para os fins de projeto é a redução do volume, ou seja, a relação entre o volume de torta compactada, e o volume original da amostra. Com esta relação podemos verificar, se num certo modelo de centrifuga haverá ou não a capacidade de descarga volumétrica da torta formada, e qual será aproximadamente a rotação diferencial mínima, que garante o funcionamento contínuo.

4.1.4.5. Determinação do limite do desaguamento mecânico

Alguns parâmetros físico-químicos – como a relação de SV/ST em caso de lodo de esgoto - permitem ter alguma estimativa sobre a concentração final de lodo, porém este mesmo é resultado de combinação de vários fatores, e não podemos ter previsão certa sem fazer alguns ensaios diretos. Como explicamos acima, a centrifugação, por exemplo não fornece informação confiável sobre a concentração final da torta.

A água está presente no lodo em “forma combinada” e pode ser classificado em quatro categorias, de acordo com a nível de ligação com as partículas sólidas:

- A. - Água livre; a fração de água que não está associada com as partículas sólidas e não está influenciada pela presença destas partículas sólidas suspensas.
- B. – Água intersticial – ou água capilar: água “presa” nos espaços intersticiais dos flocos formados pelas matrizes de hidróxidos ou de microrganismos. Esta fração de água está ligada com as partículas sólidas através forças capilares, e para remover precisam força mecânica. A adição de floculantes, que ajudam a formação de flocos maiores, resultam também a liberação de parte de água intersticial para a água livre.
- C. – Água vicinal ou água superficial: Camadas múltiplas de moléculas de água estão ligados com forças de adsorção. A distância desta ligação é muito pequena, mas a força da ligação é muito intensa, por isso, ele não se move livremente e não pode mais removida por simples força mecânica.
- D. – Água de hidratação e água intracelular: Água ligada quimicamente, ou está encapsulada dentro das células dos microrganismos. Esta fração de água somente pode ser removida por evaporação em alta temperatura.

Como a água intracelular e a água superficial só podem ser quantificados juntos, está referido como água ligada (“bounded water” Vesilind 1994), e só pode ser removida por processos térmicos.

Com desaguamento mecânico, independente do equipamento aplicado, só pode ser removida a água livre e – após a condicionamento apropriado – uma parte da água intersticial que é convertido para água livre durante o processo de coagulação e floculação. Se conseguimos determinar a proporção destas duas frações de água na umidade total presente de lodo, podemos definir a limite do desaguamento mecânico: um valor de umidade remanescente que, com um equipamento de desaguamento bem ajustado e bem operado pode ser aproximado, mas jamais será ultrapassado. Existem métodos de laboratório, para determinar a fração de água ligada, como os

testes de dilatométrica e a determinação de curva termogravimétrica (Kopp, J. and Dichtl, N. 2001)

O princípio do teste de dilatométrica é que as forças de ligação da água superficial e intracelular (água ligada) são tão intensas que esta fração de água não congela em -25°C . A diferença entre a conteúdo de água congelada determinada através a expansão de volume, e entre a conteúdo de água total, determinado por evaporação resulta a quantidade de água ligada; e entendemos que este resultado representa a limite de desaguamento mecânico.

De acordo com a medição termogravimétrico, a amostra de lodo está exposta em temperatura constante, e determinamos a massa de água evaporada em certos intervalos do tempo. Enquanto há água livre presente na amostra, a velocidade de evaporação é constante, esta parte da curva é linear. Como a remoção das demais frações de água é mais difícil a velocidade de evaporação fica menor, e a curva obtida perde a forma linear. A concentração em que ocorre esta mudança, pode ser considerada como o limite de desaguamento mecânico.

Os dois métodos precisam equipamentos sofisticados. A mais “acessível” é a termogravimétrica, precisa um analisador de umidade, interligado com uma impressora, ou com computador para coletar os dados. Esta balança, porém, além de possuir interface digital, deve suportar a maior quantidade inicial de amostra possível e deve ter uma sensibilidade boa, já que temos que detectar mudanças de velocidade relativamente pequenas. Somente os equipamentos mais sofisticados e mais caros possuem estas características.

Um método mais simples, porém, menos “científico” é remover a maior parte possível da água livre e intersticial da amostra de lodo com alguma maneira e depois determinar a umidade remanescente com os métodos padronizados. Esta remoção de água livre pode ser promovida com duas maneiras:

- Pressionar a torta parcialmente desaguada entre dois discos de papel filtro numa prensa manual ou hidráulica, aproveitando também a “sucção capilar” do papel; ou
- Centrifugar a torta parcialmente desaguada num tubo feito de tela metálica com abertura de 100 mesh, encaixado num tubo de centrifuga normal, em alta força-G pelo menos por 30 minutos. Como a água separada desta maneira não terá mais contato direto com a torta, esta mesma ficará ausente de água livre.

Como mais fácil garantir a ajuste exato dos parâmetros da centrifugação (tempo, rotação, mesh da tela), a Andritz usa este método nos restos de rotina durante a avaliação da torta, e o resultado serve de referência para o limite de desaguamento. Dependendo do tipo e origem de lodo podemos garantir a concentração final de sólidos na torta como 0,7 a 0,8 vezes do valor determinado durante este teste.

Uma revisão nos métodos conhecidos de quantificação da facilidade de desaguamento do lodo foi publicada recentemente (To et al., 2016).

4.1.4.6. Testes com equipamentos piloto

Parâmetros realmente confiáveis para o dimensionamento dos equipamentos só podem obtidos através de equipamentos de testes em escala piloto. Para garantir que os resultados correspondem a situação real da planta, durante o planejamento do teste temos que prestar atenção nos seguintes detalhes importantes:

- A duração de teste deve ser suficiente para cobrir um período representativa, com produção de lodo médio, e podendo avaliar as eventuais oscilações. Infelizmente, é necessário contar um “tempo perdido” para a instalação e aferimento dos equipamentos.
- Na instalação do conjunto, tem que verificar a compatibilidade dos componentes em capacidade, para não ter nenhum equipamento limitante no conjunto. Por esta razão, conjuntos de testes montados em “skid” ou em container, com componentes já instalados e testados são os mais confiáveis. A Figura 14 mostra um skid de testes da Andritz Separation. É necessário verificar também a compatibilidade de materiais de construção do equipamento com o lodo.



Figura 14.: Unidade móvel de teste e demonstração do C-Press da Andritz.

- Fazer um plano de teste com antecedência, estabelecendo a frequência de amostragem, e das análises, determinar a metodologia dos mesmos. Pré-estabelecer um cronograma para períodos para testar critérios diferentes, como testes com capacidade máxima, teste com desempenho máximo ou teste com consumo de polieletrólito mínimo.
- Caso duas ou mais alternativas estão sendo testadas, envolvendo equipamentos e fornecedores diferentes, é aconselhável, que estes testes sejam conduzidos simultaneamente, para evitar as potenciais diferenças da qualidade do lodo.

- Tem que tomar cuidado com os efeitos de mudança de escala. Em caso de decanter centrífuga, os equipamentos com tambor de diâmetro menor trabalham com força-G mais elevada, por isso os resultados dos testes de equipamento piloto só podem ser usados com certa crítica para o projeto com equipamento maior.
- Até o final de testes tem que determinar os parâmetros operacionais ótimas, e estabelecer os parâmetros de projeto, como capacidade específica – por exemplo carga de sólidos secos por m² de área de filtração; eficiência de captura de sólidos; concentração final da torta; consumo de polieletrólito e outros insumos, com água industrial, ar comprimido; determinação de regime de operação possível, descontando o tempo necessário para lavagem de tela filtrante, etc.; consumo específico de energia elétrica em kW por trota produzida ou por líquido removido.

4.2. DETERMINAÇÃO DOS OBJETIVOS, E SELEÇÃO DA TECNOLOGIA

Obtendo os parâmetros necessários para a elaboração do projeto e fazer a comparação entre os sistemas de desaguamento concorrentes, podemos determinar os objetivos do desaguamento – ou seja, aonde queremos chegar. Infelizmente, muitas vezes acontece que o cliente determina os objetivos desconhecendo os parâmetros necessários, criando assim expectativas fora da realidade.

Podemos classificar os objetivos nas seguintes categorias:

- Objetivos técnicos, como desempenho, flexibilidade, confiabilidade, possibilidade de implantação e compatibilidade com os componentes já existentes, exigências pelo tratamento e de disposição consecutivo.
- Objetivos econômicas, como CAPEX e OPEX; consumo de energia e outros insumos, mão de obra necessária
- Objetivos ambientais, como emissão de odores, e ruídos; questão de micro-organismos patogênicos ou vetores;
- Objetivos administrativos, como atendimento de legislação, marketing e relações públicas.

Entre os objetivos técnicos sempre se destaca a exigência pela eficiência de captura e pela secagem da torta. Na maioria dos equipamentos de desaguamento mecânico de operação contínua, a alteração de um parâmetro de operação melhora a concentração dos sólidos na torta, mas prejudica a eficiência da captura, ou vice-versa. Como um exemplo, a Figura 15 resume o efeito dos parâmetros operacionais mais importantes no resultado do desaguamento, caso usamos centrífuga decanter.

No meu ponto de vista, devemos considerar a seguinte ordem de importância dos indicadores de desempenho do desaguamento:

- a. Atender a produção do lodo em qualquer circunstância.
- b. Garantir o melhor captura possível, mandar a mínima quantidade de sólidos de volta para o sistema de tratamento;
- c. Garantir a melhor “secagem da torta” possível;
- d. Manter o consumo de coagulantes e floculantes.

Em casos específicos, quando há secagem térmica da torta e o sistema de tratamento tem “folga” de absorver uma carga de sólidos mais elevada, esta ordem acima

descrita, obviamente pode mudar, já que o melhor desaguamento vai diminuir drasticamente do consumo da energia na fase da secagem térmica.



Figura 15: Efeito de parâmetros variáveis no resultado do desaguamento da centrifuga decanter.

A disponibilidade de espaço, ou ficar dentro dos limites da capacidade de uma subestação elétrica, numa estação de tratamento já existente também pode determinar um objetivo. Sempre tem que avaliar o impacto do retorno de sólidos e eventualmente o excesso de polieletrólito para o sistema de tratamento, tanto como a possível mudança de pH que o clarificado pode causar após um condicionamento que necessita a ajuste do mesmo.

Podemos determinar a seguinte sequência general para a avaliação final na base dos parâmetros definitivas do projeto, num processo de seleção do sistema (USEPA, 1979):

- I. Seleção dos critérios relevantes
- II. Identificação das opções
- III. Eliminação os sistemas que não atendem os critérios relevantes
- IV. Seleção do sistema mais adequada.

Entre os objetivos acima mencionados qualquer um pode ser o critério relevante, dependendo das particularidades do projeto.

A parte 3 deste artigo resumiu as opções mais comuns para a desaguamento mecânico, apresentando as características que devem ser consideradas na comparação e na seleção dos sistemas.

Um método útil para a seleção dos sistemas é construir uma planilha pontuada de critérios e alternativas, determinando um peso para cada critério e avaliar as alternativas com uma nota para cada critério, como sugerem as literaturas já citadas (USEPA, 1979, Vanzetto, 2012).

A percepção do avaliador sobre a importância atribuída de cada critério é indicada em uma escala de classificação, digamos de 0 a 5, com classificações mais altas dadas a critérios que o avaliador considera de maior importância, e o menor para os menos importantes. Por exemplo, se a confiabilidade é altamente valorizada para o site em questão, confiabilidade pode ter um peso relativo de 5. Em seguida, cada sistema alternativo é classificado de acordo do desempenho esperado em relação aos vários critérios, novamente usando uma escala de classificação, digamos de 0 a 10. Alternativas que oferecem melhor atendimento de um certo critério, recebem pontuações altas. Por exemplo, uma alternativa que não pode considerado como confiável pode ser avaliado em 2 com relação deste critério. O peso relativo é então multiplicado pela classificação da alternativa para produzir uma classificação ponderada para cada combinação de critério / alternativa. Para o exemplo acima descrito, a classificação ponderada para a alternativa em questão em relação à confiabilidade é $5 \times 2 = 10$. Finalmente, somamos os valores ponderados para cada alternativa, resultando uma classificação geral. Sistemas de classificação superior devem ser escolhidos para as avaliações definitivas.

Podemos concluir que a pergunta “qual é o melhor sistema de desaguamento” não está bem formulada; temos que buscar sempre a alternativa mais adequada para uma situação. Os critérios da seleção poder abranger aspectos técnicos, econômicos, ambientais e administrativos.

Para avaliação técnica correta das alternativas do desaguamento mecânico, o levantamento dos dados quantitativas e qualitativas do lodo é indispensável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F.: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2014.

Andritz: Sludge Process Training – Programa de treinamento interno da empresa, 2016.

Christensen, G.L.: Units for specific resistance Journal WPCF, Vol. 55 (4) p417-419 1983.

City of Tampa Wastewater Department: Biosolids Dewatering Pilot Testing Summary and Comparison of Performance Report, 2013.

Degrémont: Water Treatment Handbook, 7th Ed. Lavoisier S.A.S. 2007

Eckenfelder Jr., W.W., Santham, C.J.: Sludge Treatment, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, 1981.

Ealge Eye Banquet Facility, Bath, MI: Kalamazoo Solids Dewatering; in MWEA Process seminar, 2015.

EPA: Design Manual - Dewatering Municipal Wastewater Sludges. EPA/625/1-87/014, 1987.

Gonçalves, R.F., Ludovice, M. e von Sperling, M. "Remoção da umidade de lodos de esgotos". In: Andreoli, C. V.; Von Sperling, M.; Fernandes, F. *Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final*. Editora UFMG, Belo Horizonte, 157-258. 2014.

ISWA Working Group on Sewage & Water work Sludge: Sludge Treatment and Disposal. European Environment Agency, 1997.

Iwaki, G.: Destinação final de lodos de ETAs e ETEs. Portal Tratamento de Água (<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-etas-e-etes/>), 2017.

Khiari, B., Marias, F., Zagrouba, F., Vaxelaire, J.: Analytical study of the pyrolysis process in a wastewater treatment pilot station. *Desalination* v. 167. P39-47, 2004.

Kopp, J. and Dichtl, N.: In: *Sludge into Biosolids – Processing, Disposal and utilization*, Ed.: Spinosa, L. and Vesilind, P.A. IWA Publishing 2001.

Miki, M.K., Alem Sobrinho, P. e van Haandel, A.C. "Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – condicionamento, desaguamento mecanizado e secagem térmica do lodo". In: Andreoli, C.V., (coord.). *Usos Alternativos de Lodos de Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Esgoto*. ABES, Rio de Janeiro, 49-108. 2006.

Mogami, S.: Desaguamento de lodo de ETAs e ETEs, *Revista Hydro*, Novembro, p 18-26. 2010.

Novak, K.: Dewatering Case Study Rotary Press versus Screw Press. OWEA 2012 Anual Conference, 2012.

Norma Técnica Sabesp NTS 287: Sistema de desaguamento de lodo utilizando centrifuga tipo decanter. São Paulo, 2011.

Papa, M., Pedrazzani, R., Nembrini, S., Bertanza, G.: *Applied Rheology*, Vol. 25 p 24590 2015.

Pedroza, M.M., Vieira, G.E.G., de Souza, J.F., Pickler, A.C., Laef, E.R.M, Milhomen, C.C.: Produção de tratamento de esgoto – uma revisão, *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, Vol. 11, N. 16. P. 149. Jul/dez 2010.

Realí, M.A.P. Patrizzi, L.J., Cordeiro, J.S.: Desidratação de Lodo por Centrifugação. In: Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água. Prosab, Rio de Janeiro 1999.

Richter C.A.: Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2001.

Ripperger, s., Gösele, W., Alt, C.: in Ulmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol 14, 677-709. 2012.

Skinner, S.J., Studer, L.J., Dixon, D.R., Hillis, P., Rees, C.A. Wall, R.C., Cavalida, R.G., Usher, S.P., Stickland, A.D., Scales, P.J.: Quantification of wastewater sludge dewatering, Water Research, Vol 30. p1-12 2015.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L: Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification, Addison Wesley Publishing Company. 1985.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D: Wastewater Engineering: Treatment and reuse (4th edition) Metcalf & Eddy Inc. 2003.

To, V.H.T, Nguyen, T.V., Vingeswaran, S., Ngo, H.H: A review on sludge dewatering indices. Wat. Sci. Tech. vol. 74, p 1-16, 2016.

USEPA Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, Office R&D, Cincinnati, Contract No. 625 (79-011), 1979.

van Haandel, A.C., Marais G.V.R.: O comportamento do sistema de lodo ativado. Campina Grande, Epgraf, 1999.

Vanzetto, A.S.: Análise das alternativas tecnológicas de desaguamento de lodos produzidos em estações de tratamento de esgoto. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 2012.

Vesilind, P.A.: The role of water in sludge dewatering. Wat. Sci. Tech 28(11/12) p141-150 1994.

von Sperling, M., Gonçalves, R.F.: Lodo de esgotos: Características e produção. In: Andreoli, C. V.; Von Sperling, M.; Fernandes, F. *Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final*. Editora UFMG, Belo Horizonte, 15-65. 2014.

Westerling, K. (2016): Tips for Improved Dewatering. Water Online, 2016. (<https://www.wateronline.com/doc/tips-for-improved-dewatering-0001>)