



HIDRÓLISE DO LODO EM DIGESTORES ANAERÓBIOS MESOFÍLICOS: OTIMIZAÇÃO GLOBAL NA RECUPERAÇÃO DE RECURSOS

Marcelo Kenji Miki

Engenheiro Civil e Mestre pela Escola Politécnica da USP. Gerente de Departamento na SABESP da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação/TX. Coordenador Adjunto da Câmara Temática de Tratamento de Esgoto da ABES.

Endereço: Rua Costa Carvalho, nº 300 – Pinheiros, CEP 05429-900, São Paulo, SP, Brasil, - Tel: +55 (11) 3388-9013, - e-mail: mmiki@sabesp.com.br

RESUMO

Uma das rotas tecnológicas que vem ganhando destaque no processo de tratamento de esgotos é a utilização da hidrólise como pré-tratamento do lodo para otimização de digestores anaeróbios mesofílicos, que traz entre principais vantagens um melhor aproveitamento da capacidade volumétrica dos digestores, maior destruição de sólidos voláteis e um lodo mais fácil de ser desidratado, atingindo teores de sólidos de 30% em equipamentos de centrífuga e filtro prensa de esteira. Outra vantagem considerável é o balanço térmico favorável na Co-geração, onde a maior produção de biogás e a menor geração de lodo devido a hidrólise permitem a secagem térmica completa de toda produção de lodo.

PALAVRAS-CHAVE: hidrólise do lodo, digestor anaeróbio mesofílico, processo de tratamento de lodo.

OBJETIVO

Realizar levantamento do Estado da Arte das tecnologias de Hidrólise do Lodo como forma de Pré-Tratamento através de Hidrólise para Digestor Anaeróbio de Lodo Mesofílico, de forma a subsidiar o processo de escolha de alternativas.

1 DIGESTÃO ANAERÓBIA E MESOFÍLICA DO LODO

A digestão anaeróbia do lodo é um dos processos mais utilizados para a estabilização do lodo. De acordo com a WEF (2017), as principais justificativas para a estabilização do lodo são:

- Razões estéticas (por exemplo, aparência e odor do produto final);
- Redução da massa;
- Redução do volume;
- Produção de biogás (energia renovável);
- Redução de patógenos (de forma a atender aos requisitos da Norma Americana Part 503);
- Redução de atração a vetores/sólidos voláteis (de forma a atender aos requisitos da Norma Americana Part 503);
- Produto final utilizável e comercializável;

De acordo com a WEF (2017), normalmente o critério da taxa de aplicação é baseada na sustentação de condições de carga (normalmente produção de sólidos em pico mensal ou pico semanal), de forma a evitar cargas excessivas durante curtos períodos. Um parâmetro típico de projeto para taxa de aplicação de pico é de 1,9 a 2,5 kg SV/m³ dia. O valor limite superior da taxa de aplicação é normalmente estabelecida através da taxa, na qual há o acúmulo de substâncias tóxicas – particularmente a amônia – ou então há o arraste de microrganismos de lento crescimento. Com a pré-desidratação para aumentar o teor de sólidos de alimentação e o pré-tratamento térmico ou termo-químico, alguns digestores podem ser carregados com taxas de aplicação de aproximadamente 2,5 kg SV/ m³ dia. Já de acordo com OOSTERHUIS et al. (2014) apud BARBER (2016), a taxa de aplicação de sólidos para digestão com lodo submetido a hidrólise térmica aumenta por um fator de 2,3 comparado com a digestão anaeróbia padrão, sendo a taxa de aplicação típica de projeto situada na faixa de 5 – 6 kg SV/m³.dia.

De acordo com a WEF (2017), a maior parte dos digestores anaeróbios são dimensionados para operar na temperatura mesofílica de 35°C. Independente a temperatura escolhida, mantê-la em regime constante é uma das tarefas mais importantes. Os microrganismos envolvidos (em particular a população de microrganismos mesofílicos) são sensíveis às mudanças de temperatura; portanto flutuações na temperatura podem provocar estresse nos microrganismos e, portanto, desestabilizar o processo. Mudanças de temperatura acima de 1°C/dia



podem impactar o processo de digestão. Um bom projeto de digestor evita mudanças de temperatura maiores que 0,5°C/dia.

De acordo com trabalho anterior do próprio autor (MIKI, 2017), não é prática no Brasil a adoção de temperatura controlada em digestores anaeróbios mesofílicos, postura esta que está sendo cada vez questionada e revertida, levando-se em conta os benefícios decorrentes da adoção da faixa de temperatura mesofílica ótima. A experiência internacional da evolução da adoção dos motores de co-geração partiu da premissa da necessidade de aquecimento de digestores anaeróbios mesofílicos, que eram aquecidos inicialmente somente através da utilização do biogás em caldeira. Com a introdução da co-geração, tem-se tanto o aproveitamento da geração de energia elétrica através da movimentação do motor movido pelo biogás gerado nos digestores anaeróbios e devidamente tratado para remoção de impurezas, como também do aproveitamento do calor gerado através da utilização do calor da água de arrefecimento do motor para aquecimento do lodo.

Este gradiente de temperatura aproximado de 10°C entre um digestor aquecido a 35°C e um digestor não aquecido em clima tropical de 25°C é extremamente significativo na taxa de crescimento das bactérias anaeróbias e conforme a figura 1.1, a diferença é de aproximadamente o dobro. Como consequência prática temos uma maior produção de lodo bem como uma menor geração de biogás.

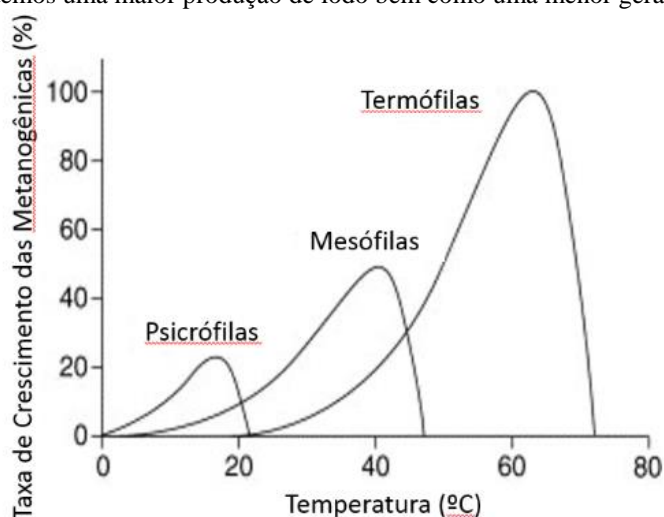


Figura 1.1: Taxa relativa de crescimento das bactérias metanogênicas em função da temperatura.

Fonte: Wiegel (1990) apud Lettinga et al (2001)

De acordo com a WEF (2017), os parâmetros típicos de dimensionamento de digestores anaeróbios mesofílicos estão apresentados na Tabela 1.1.

Parâmetros de Dimensionamento de Digestores Anaeróbios Mesofílicos
<ul style="list-style-type: none">• Taxa de Aplicação de Sólidos: 1,9 a 2,5 kg SSV/m³.d (limite máximo de 3,2 kg/ SSV/m³.d)• Tempo de Detenção: 15 dias (mínimo);• Temperatura de 35 a 39 ° C;• Teor de Sólidos de Entrada 4 a 5%;

Tabela 1.1: Parâmetros de Dimensionamento de Digestores Anaeróbios Mesofílicos

De acordo com WEF (2017), a taxa de produção de biogás típica de um digestor anaeróbio tratando uma combinação de lodo primário e secundário apresenta-se numa faixa típica de 0,8 a 1 m³/kg de sólidos voláteis destruídos. Conforme dados de desempenho de digestores adequadamente operados, indicam que a concentração de metano no biogás em volume varia entre 60 a 70% e de CO₂ entre 30 a 35%.

Os sistemas de secagem de lodo demandam alta quantidade de energia com valores entre 776 a 944 por kg de água evaporada, de acordo com US EPA (2006), enquanto que a demanda teórica para água é de 539 kcal por kg de água.



2 TECNOLOGIAS DE HIDRÓLISE DO LODO

Nos últimos anos as tecnologias de tratamento de esgoto vêm se tornando cada mais intensivas devido à maiores restrições de área disponível para ampliações, bem como a própria busca da adoção de tecnologias mais eficazes que possibilitem a redução global do custo operacional da Estação de Tratamento de Esgoto.

Sendo a Digestão Mesofílica do Lodo uma das rotas tecnológicas mais adotadas no mundo, cabe uma oportunidade de levantamento do Estado de Arte de Pré-Tratamento de Lodo, de forma a levantar benefícios técnicos e econômicos, bem como discutir vantagens e desvantagens das alternativas de implementação.

O Pré-Tratamento de Lodo através da Hidrólise é um processo que rompe a parede celular dos microrganismos, permitindo disponibilizando substratos adicionais para digestão.

Os processos de Hidrólise do Lodo podem ser divididos em 3 categorias:

- **Físico:** Alta temperatura e alta pressão;
- **Físico - Químico:** Aplicação de Temperatura e Dosagem de Produto Químico;
- **Físico- Biológico:** Aplicação de Temperatura num determinado intervalo de tempo para a Ação de Microrganismos.

Entre os principais benefícios do Pré-Tratamento por Hidrólise podemos citar:

- Processamento do lodo com teor de sólidos mais alto que o convencional, possibilitando assim menores requisitos de volume para processamento;
- Melhoria das características de viscosidade do lodo com alta concentração de sólidos;
- Pasteurização do lodo: caso ambos os lodos (primário e secundário) sejam submetidos a hidrólise, há a possibilidade de se ter um lodo isento de patógenos e Classe A, conforme a Norma Americana Part 503 de uso agrícola de lodo;
- Menor geração de lodo em base seca;
- Menor geração de lodo em base úmida, com lodo atingindo teores de sólidos em torno de 30% tanto para centrífuga como para filtro prensa de esteira;

No entanto adoção da Hidrólise traz também efeitos negativos que são normalmente suplantados pelos benefícios, mas que não podem ser desprezados:

- Como a hidrólise implica em processar lodos mais concentrados, estes lodos não estabilizados devem ser submetidos a processos de adensamento e/ou desidratação e com as devidas precaução de coleta e tratamento de odores. Quando há esta necessidade de coleta de odores, normalmente as centrífugas são mais adequadas devido a possuir um ambiente mais enclausurado que o filtro prensa de esteira.
- Centrado/filtrado da desidratação de lodo possuem uma alta carga de poluentes, que ao retornarem para a cabeceira da ETE podem impactar nos custos de aeração como também na qualidade do efluente final. De acordo com FIGDORE (2010), as características do filtrado adotadas para o dimensionamento do sistema dedicado através de deamonificação da ETE Blue Plains da DC Water com hidrólise térmica admitiu uma faixa de concentração de nitrogênio amoniacal de 2500 a 3000 mg/L, Ácidos Graxos Voláteis de 2000 a 2500 mg/L, Alcalinidade Total como CaCO₃ de 9500 a 11.500 mg/L

E cabe citar que os **processos de hidrólise** de lodo são tecnologias **patenteadas** e proprietárias, cujos parâmetros de dimensionamento são de conhecimento do fornecedor da tecnologia em função de projetos de pesquisa e desenvolvimento, bem como da obtenção de parâmetros operacionais de clientes usuários.

Os processos de pré-tratamento por hidrólise podem englobar o lodo primário e secundário, quando há o requisito de se ter um lodo isento de patógenos, ou seja, um lodo Classe A conforme a Norma Americana Part 503.

As tecnologias de hidrólise investigadas neste estudo foram decorrentes de visitas técnicas realizadas por técnicos da SABESP durante a Missão aos EUA em 2017, com exceção de uma que foi mapeada pelo Plano de Modernização do Tratamento de Esgotos na Região Metropolitana de São Paulo - PLAMTE. As tecnologias a serem relatadas são:

- Cambi;
- Pondus;
- Monsal.

3 TECNOLOGIA CAMBI

Dentre as tecnologias de Hidrólise do lodo, a tecnologia Cambi é, sem dúvida, a que apresenta a mais vasta literatura disponível, sendo objeto de inúmeros artigos técnicos e provavelmente com o maior número de instalações implantadas. Portanto, a descrição desta tecnologia será mais pormenorizada que as demais.



A tecnologia Cambi pode processar tanto a combinação de lodo primário mais secundário, com o objetivo de fazer a inativação de agentes patogênicos, como também somente com o lodo secundário. De acordo com BARBER (2016), há uma tendência na Europa de se migrar da configuração tradicional de se trabalhar com lodo primário e secundário para somente com lodo secundário, ou ainda, para lodo digerido seguido de um segundo estágio de digestão.

A configuração do Cambi de processamento somente com o lodo secundário está ilustrada conforme Figura 3.1.

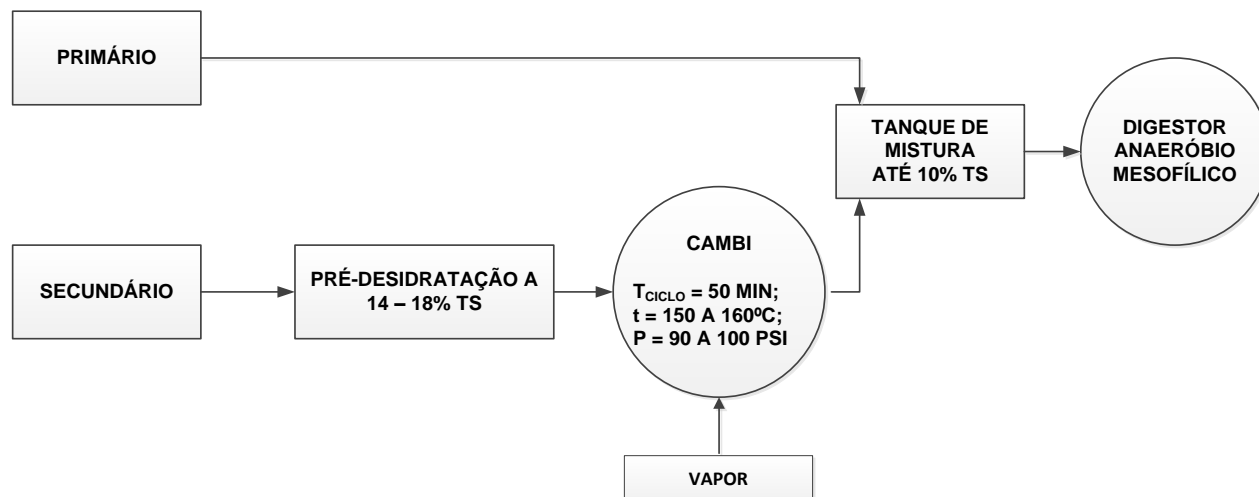


Figura 3.1: Configuração de Pré-Tratamento de Hidrólise através do Processo Cambi

De acordo com ABU-ORF et al (2009), o Processo de Hidrólise térmica consiste de 3 unidades principais, conforme ilustrado na Figura 3.2: Tanque de mistura de lodo com diluição, Reator e Tanque de despressurização rápida. Antes de passar pela unidade de hidrólise térmica o lodo deve passar um processo de gradeamento de forma a remover materiais danosos deste fluxo. O lodo deve sofrer um pré-desaguamento ligeiramente acima de 18% de teor de sólidos, sendo o lodo resultante transferido para um silo com tamanho suficiente para realizar a equalização da variação da produção, permitindo que a hidrólise térmica trabalhe num fluxo uniforme. Em seguida o lodo é transferido para Tanque de mistura de lodo com diluição através de uma rosca localizada no fundo do silo. A concentração do lodo neste tanque é diluída para uma faixa ente 14,5 e 16,5%, podendo ser utilizado o efluente de entrada. O lodo é homogeneizado através de misturador neste tanque e pré-aquecido com o vapor que é reciclado do tanque de despressurização rápida. O lodo pré-aquecido é bombeado para o tanque reator de modo a ser aquecido a 165 °C e numa faixa pressão entre 90 – 100 psi. Durante o processo de aquecimento no reator, através de injeção direta de vapor, a concentração de sólidos atinge um valor de aproximadamente 14,8%. Após um tempo de apropriado de hidrólise, o lodo é transferido do reator para o tanque de despressurização rápida. Atribui-se a queda de pressão do reator à ruptura das células orgânicas do lodo. O Tanque de despressurização rápida recebe um lodo tratado com teor de sólidos 3% menor que o lodo bruto de entrada devido a injeção de vapor. Neste ponto o lodo está muito aquecido para alimentar um digestor mesofílico e requer tanto um resfriamento como uma diluição. A água utilizada para diluição serve para diminuir a concentração do lodo entre 10 e 12%. A temperatura é reduzida para aproximadamente 42-44 °C através de um trocador de calor. O lodo com teor de sólidos entre 10 a 12% é então transferido para o digestor mesofílico de lodo. O lodo digerido é então encaminhado para a desidratação mecânica de lodo e para a disposição final. O lodo resultante tem propriedades interessantes para o solo e disposição agrícola. De forma complementar a linha de processamento de lodo, deve haver uma fonte de vapor para aquecimento dos reatores, sendo, portanto, necessário instalar pelo mesmo uma caldeira nesta linha de processo. Normalmente o biogás gerado em digestores anaeróbios são processados para serem utilizados em co-geração para produção de energia elétrica e o calor necessário para a hidrólise térmica do lodo.

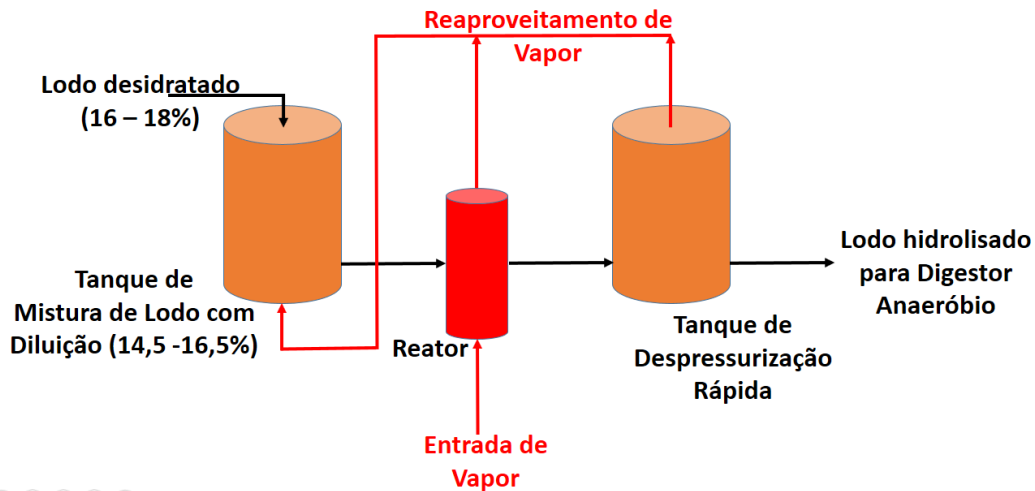


Figura 3.2: Principais componentes do Processo Cambi

Fonte: ABU-ORF et al (2009)

O ciclo de operação do Cambi está mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Tempos de ciclo do processo Cambi da ETE Blue Plains, DC Water

Etapa	Processo	Tempo	Descrição
1	Enchimento	15 min	Enchimento do reator com lodo
2	Injeção de vapor	15 min	Injeção de vapor no reator
3	Reação	30 min	Manutenção do reator a 160 °C e 90 psi
4	Saída de vapor	15 min	Lançamento de vapor para o “Pulper”
5	Esvaziamento	15 min	Transferência de lodo para o Tanque de despressurização através de alívio de pressão

Fonte: ABU-ORF et al (2009)

As fotos apresentadas neste trabalho são referentes à Missão Técnica realizada aos EUA em 2017.



Figura 3.3: Reatores Cambi na Planta Blue Plains da DC Water



Figura 3.4: Vista geral dos Digestores Anaeróbios Mesofílicos e Reatores Cambi na Planta Blue Plains da DC Water

LOOMIS et al (2016) relataram a adoção do Processo Cambi através da Trinity River Authority, que engloba várias municipalidades, dentre elas Dallas e Fort Worth. Para este projeto foi prevista a incorporação de várias melhorias decorrentes do aprendizado obtido pela ETE Blue Plains da DC Water, bem como de melhorias do processo Cambi. O sistema utilizado pela DC Water baseou-se no modelo B-12 desenvolvido em 1997 e com 30 instalações no mundo. O tempo de instalação do modelo B-12 pode levar em média 6 meses dependendo do número de linhas. Em 2012, foi desenvolvido o modelo B-6, sendo instalado em 18 instalações no mundo e com tempo de instalação foi reduzido para 4 semanas. O modelo B-12 tem um volume de 12 m³ sendo que o reator é utilizado durante 55% do tempo de ciclo, sendo este tempo limitado decorrente da formação de espuma. No novo projeto do modelo B-6, com volume de reator de aproximado de 6 m³, os reatores são utilizados em 80% do tempo de cada ciclo. O modelo B-12 tem um tempo de ciclo de 90 minutos aproximadamente, sendo 30 minutos de tempo de reação. No modelo B-6 o tempo de ciclo é de aproximadamente 50 minutos, sendo 20 minutos de tempo de reação. Os tempos de ciclo no processo Cambi do modelo B-6 estão mostrados na tabela 4.1.2.

Tabela 3.2 Tempos de ciclo do processo Cambi modelo B-6

Etapa	Processo	Tempo
1	Enchimento	11 min
2	Injeção de vapor	10 min
3	Reação	20 min
4	Alívio de pressão	9 min

Fonte: LOOMIS et al (2016)



Figura 3.5: Trocadores de calor na Planta Blue Plains da DC Water

Pelo fato do Cambi ser um processo intensivo com alta temperatura, são necessárias instalações acessórias de trocadores de calor, tubulações de transporte de vapor a alta temperatura e pressão, etc. Ou seja, são instalações de um tipo de porte industrial não tão usual na área de saneamento.



Figura 3.6: Trocadores de calor na Planta Blue Plains da DC Water



Figura 3.7: Tubulação de vapor a alta pressão na Planta Blue Plains da DC Water

De acordo com BARBER (2016), sugere-se que os digestores anaeróbios de lodo são otimizados quando alimentados com lodo hidrolisado termicamente e adotados tempos de detenção entre 10 a 12 dias, já que se atinge 95% do potencial de produção para 20 dias. Maiores tempos de detenção podem estimular a degradação de proteínas, aumentando consequentemente as concentrações de amônia, alcalinidade e pH, e não resulta de forma significativamente um aumento na produção de biogás.

Em relação aos processos posteriores a fase de hidrólise por Cambi e Digestão Anaeróbia Mesofílica, ocorrem o Processo de Desidratação Mecânica.

Na Planta Blue Plains da DC Water a opção escolhida foi a Desidratação através de Filtros Prensa de Esteira. HIGGINS et al (2011) realizaram comparações de desidratação de lodo submetido a hidrólise através de centrífuga e filtro prensa de esteira. Devido aos maiores esforços de cisalhamento no processo de centrífuga, foi notada uma maior liberação de compostos orgânicos sulfurosos. Já em relação à captura e teor de sólidos da torta, os resultados foram equivalentes em ambas as tecnologias. Muito provavelmente este estudo influenciou na decisão final da DC Water em optar pelo Filtro Prensa de Esteira.



Figura 3.8: Filtros Prensa de Esteira para Desidratação do Lodo da Planta Blue Plains da DC Water

HASAN et al (2017) realizaram estudos de caracterização de operação de desidratação em escala laboratorial com diversos tipos de lodo obtidos da planta da DC Water. Entre os resultados obtidos, podemos destacar:

- Para lodo primário: captura de 98,1%, torta com 42,3% e dosagem de polímero de 6,1 kg/ton;
- Para lodo secundário: captura de 96,7%, torta com 15% e dosagem de polímero de 5,2 kg/ton;



• Para mistura de lodo primário e secundário na proporção de 50% em massa: torta com 23,7% OERKE et al (2017) fizeram um extenso trabalho onde foram relatadas as experiências operacionais de desidratação de lodo submetidos a hidrólise térmica no mundo e com especial atenção através da planta Blue Plains da DC Water, bem como a experiência na escolha de projeto da planta de San Francisco. Deste artigo destacamos as seguintes considerações:

- Das 55 instalações no mundo com Cambi:
 - A maioria das instalações utilizam equipamentos de desidratação com que os operadores estão mais familiarizados;
 - Normalmente a preferência dos operadores é o fator principal de seleção na escolha do equipamento de desidratação para plantas com hidrólise térmica;
 - Quase todas as instalações alcançam teores de sólidos superiores a 28%, tanto em centrífugas como em filtro prensa de esteira. Ambos equipamentos podem produzir um lodo desidratado Classe A;
 - 35 instalações/74% são centrífugas. As centrífugas são mais populares na Europa que nos Estados Unidos.
 - 8 instalações são Filtro Prensa de Esteira.
 - 4 instalações são instalações de Prensa com Pistão Hidráulico, com tortas variando entre 30 a 45% de TS.
 - 3 instalações são Filtro Prensa de Placas (1 na França e 2 na China) com tortas acima de 40% de TS.
 - Em 15 projetos iniciais com Filtro Prensa de Esteira:
 - a) 7 instalações mudaram para centrífuga nos últimos 3 – 4 anos:
 - Algumas instalações (Dublin e Aberdeen) foram financiadas pela Ashbrook (fornecedora de Filtros Prensa de Esteira) que era um parceiro na Joint Venture;
 - Em Giesebullach, Alemanha, adotou o Cambi e passou a produzir torta com mais de 40% nas centrífugas
 - b) Duas instalações mudaram para Prensa com Pistão Hidráulico.
 - Algumas operadoras mudaram de Filtro Prensa de Esteira para Centrífugas de modo a reduzir o espaço de utilização, bem como do odor desprendido de amônia e maior manutenção da tela caso ocorra um maior conteúdo de óleos e graxas;
 - Podem ser realizadas altas taxas de aplicação no filtro prensa de esteira devido a maior taxa de desprendimento de água livre na área de drenagem por gravidade;
 - A redução no teor de sólidos do lodo de entrada tanto em centrífugas como em filtro prensa de esteira aumenta significativamente a mistura entre lodo e polímero;
 - As centrífugas aumentam em 20% a taxa de aplicação de sólidos;
 - Lodo tratados com adição de sais férricos (quer sejam tratados com Hidrólise Térmica ou não) apresentam características superiores de desidratação:
 - As instalações da DC Water e Crawley, Reino Unido, aplicam cloreto férrico aos decantadores primários para remoção de fósforo e são as que apresentam melhores resultados em Filtro Prensa de Esteira, com teores de sólidos na torta entre 28% a 34%.
 - A instalação de Oxford Sewerage Treatment Plant adiciona sais férricos no Decantador Primário e atinge 40% de teor de sólidos em Prensa de Pistão Hidráulico. Já a planta de Beckton não faz a aplicação de sais férricos e atinge 30% em Prensa de Pistão Hidráulico.
- Entre 2015 e 2016, os dados operacionais da planta de Blue Plains foram assim sumarizados:
 - Alimentação de sólidos com concentração de $3,6 \pm 2\%$ de TS através de água de diluição;
 - Dosagem de Polímero de 10 kg/ton (SNF Flopam 4440);
 - Taxas de aplicação de 400 até 680 kg/m/h;
 - Teor de Sólidos da Torta com $32 \pm 1\%$ TS com espessura de 8 a 15 cm;
 - Eficiência de Captura de Sólidos de $98 \pm 0,5\%$;
 - Filtrado com 208 ± 67 mg/L de SST (Sólidos em Suspensão Totais);
- Entre os fatores de sucesso da implantação de Filtro Prensa de Esteira na planta de Blue Plains com Cambi são destacados:



- Sistema de reciclagem de Filtrado para diluição do lodo de entrada de 6 a 8% para 3 a 4%;
- Alimentação de sólidos com polímero de forma otimizada através de: combinação de misturador estático com tanque de floculação;
- Maximização das áreas de filtração nas zonas de drenagem, cunha (encontros das esteiras superior e inferior) e alta pressão;
- Separação da água de lavagem da tela de filtração e da água do filtrado;
- Máximo enclausuramento de modo a minimizar odores.



Figura 3.9: Tubulações de água de lavagem e filtrado dos Filtros Prensa de Esteira para Desidratação do Lodo da Planta Blue Plains da DC Water



Figura 3.10: Torta de lodo do Filtro Prensa de Esteira da Planta Blue Plains da DC Water com 30% de TS

Um dos efeitos colaterais negativos da adoção do Hidrólise Térmica do Lodo é a geração de um filtrado/centrado na desidratação do lodo com alta concentração de amônia. Para a planta de Blue Plains foi escolhida a tecnologia DEMON de deamonificação deste efluente, de modo a não gerar impacto negativo na qualidade final do efluente final, bem como proporcionar uma economia no consumo de energia de aeração, caso houvesse o retorno para o início do processo.



Figura 3.11: Entrada de centrado do Filtro Prensa de Esteira para o Reator DEMON da Planta Blue Plains da DC Water



Figura 3.12: Reator DEMON (tipo batelada) da Planta Blue Plains da DC Water com sistema de aeração da Invent



Figura 3.13: Seletor externo de Lodo Granular do Reator DEMON da Planta Blue Plains da DC Water

4. TECNOLOGIA PONDUS/CENTRISYS

Outro pacote tecnológico de hidrólise do lodo que merece dar destaque é a combinação da Tecnologia Pondus desenvolvida na Alemanha com a Tecnologia de Adensamento por Centrifuga associada com Flotação, THK, desenvolvida pela empresa americana Centrisys.

Para esta tecnologia também houve a oportunidade de uma visita técnica por técnicos da SABESP para conhecimento do Processo através da Missão ao EUA em 2017. A planta visitada localiza-se na Cidade de Kenosha no Estado de Wisconsin, com capacidade de tratamento de 1,25 m³/s.

A configuração típica da Hidrólise com Processo Pondus está apresentada na Figura 4.1.

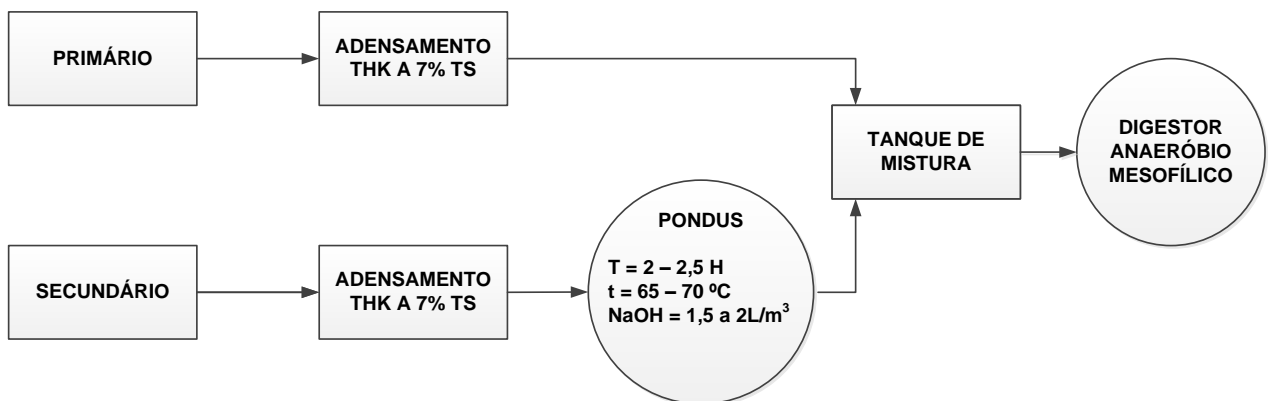


Figura 4.1: Configuração de Pré-Tratamento de Hidrólise através do Processo Pondus

Tanto o lodo primário como o secundário são submetidos ao Processo de Adensamento por Centrifugas com Flotação, THK, cuja meta para ambos os casos é de 7% de TS. O princípio de funcionamento deste equipamento está ilustrado na figura 4.2.

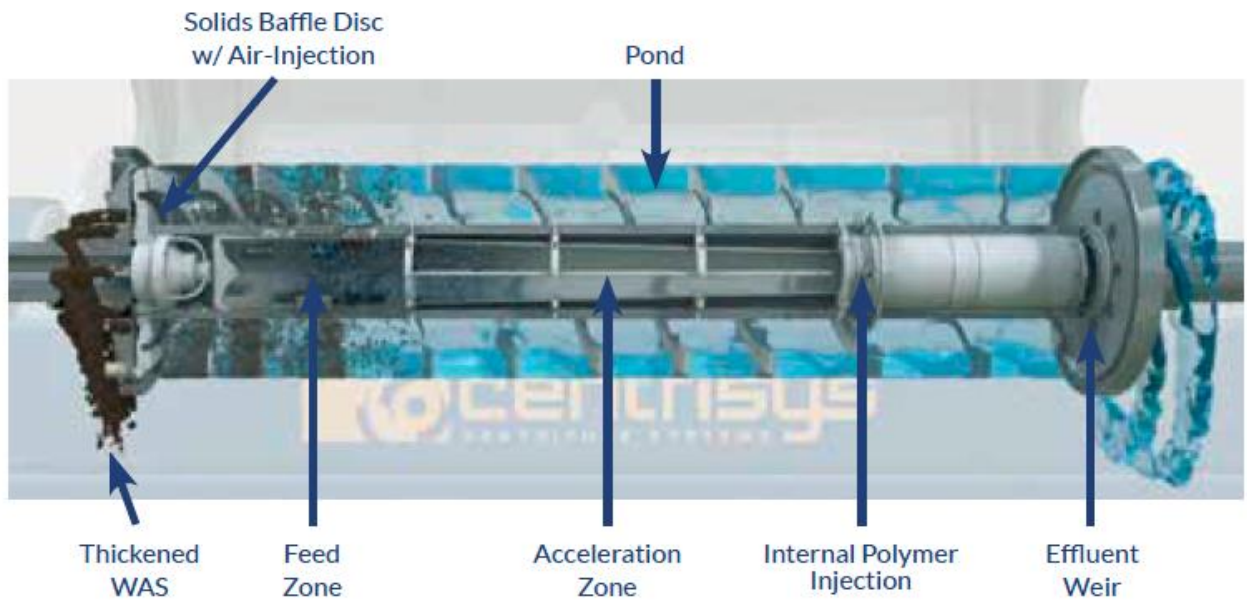


Figura 4.2: Princípio de funcionamento da Centrífuga THK com flotação da Centrisys



Figura 4.3: Centrífugas THK para adensamento do Lodo Primário e Secundário da Planta de Kenosha

Um cuidado a ser observado nesta etapa de adensamento mecânico de lodo é preocupação de captura de odores, pois são lodos não estabilizados. A devida coleta destes gases odoríficos é encaminhada para o tratamento em outra unidade externa ao prédio de adensamento.

As centrífugas THK para adensamento podem trabalhar sem a dosagem de polímero. Caso haja necessidade de maior captura de sólidos e teor de sólidos na torta, a dosagem pode atingir valor de 1 kg/ton.

Na configuração típica do Pondus, somente o Lodo Secundário é encaminhado para o reator, que apresenta as seguintes características de processo:

- 2 – 2,5 horas de tempo de detenção;



- $T = 65 - 70^{\circ}\text{C}$;
- 1,5 a 2 L de Soda Cáustica, NaOH, a 50% em 1 m^3 de lodo secundário adensado a 7%;

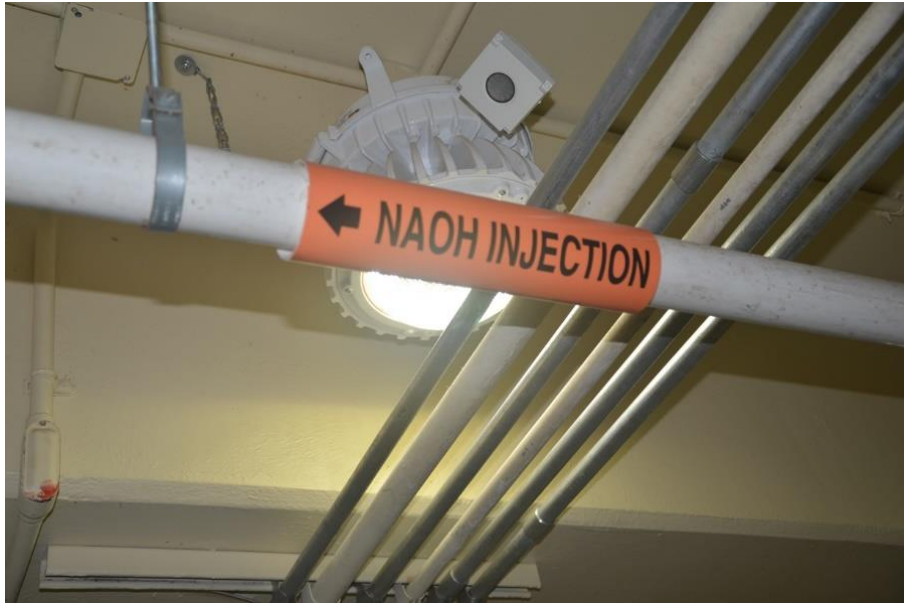


Figura 4.4: Detalhe da tubulação de aplicação de Soda Cáustica, NaOH (50%) para o Reator Pondus da Planta de Kenosha



Figura 4.5: Reator Pondus da Planta de Kenosha



Figura 4.6: Trocador de Calor do Reator Pondus da Planta de Kenosha



Figura 4.7: Reservatório de Soda Cáustica, NaOH (50%) para o Reator Pondus da Planta de Kenosha

De modo a checar os resultados operacionais na Planta de Kenosha com o Pondus, entrou-se em contato com a Diretora Operacional de Kenosha, Melissa Arnot. Os principais resultados de Kenosha Plant para os meses de Jan e Fev de 2018 são:

- Adensamento de Lodo Primário e Secundário através de Centrífugas com Flotação, THK, Centrisys:
 - a) Lodo Primário:
 - TS do lodo de entrada: 2 a 4%;
 - Dosagem de Polímero: 1,2 kg/ton;
 - TS do lodo de saída, adensado: 5 – 7%;
 - Eficiência de Captura de Sólidos: acima de 95%;
 - Relação SV/ST do lodo: 86%;



- b) Lodo Secundário:
- TS do lodo de entrada: 1 a 2%;
 - Dosagem de Polímero: 0,6 kg/ton;
 - TS do lodo de saída, adensado: 6 – 7%;;
 - Eficiência de Captura de Sólidos: acima de 98%;
 - Relação SV/ST do lodo: 72%;
- Pondus
 - Dosagem de 2 L de NaOH (50%) a cada 1 m³ de Lodo Secundário adensado;
 - Digestores Anaeróbio Mesofílicos
 - TS do lodo de entrada: 4,9% %;
 - Redução de Sólidos Voláteis: 62%;
 - 2 Digestores Primários e 1 secundário;
 - Tempo de Detenção no Digestor Primário: 21 dias;
 - Desidratação Mecânica de Lodo por centrífugas
 - Dosagem: 8 – 11 kg/ton;
 - Teor de Sólidos de Entrada: 1,7 – 2,2%;
 - Teor de Sólidos da Torta: 28 – 31%;

Outro comentário relevante refere-se à configuração da concepção completa da Planta de Kenosha, da qual consta ainda a instalação de um Sistema de Co Geração, com os devidos acessórios de limpeza de biogás, bem como um Sistema de Secagem Térmica do Lodo a 90% de teor de sólidos e baixa temperatura, ilustrado na Figura 4.8.

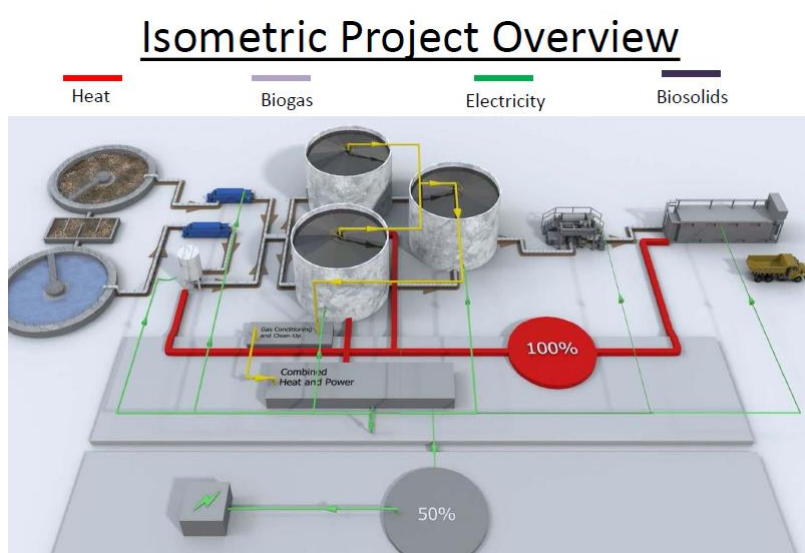


Figura 4.8: Configuração da Planta de Kenosha.

5 TECNOLOGIA MONSAL

Conforme recomendações do PLAMTE, bem como de indicação da área operacional de Tratamento de Esgotos da RMSP da SABESP, MT, tomou-se conhecimento da tecnologia Monsal, que foi originalmente desenvolvida no Reino Unido, posteriormente adquirida através da GE e que por sua vez foi adquirida pela Suez em OUT 2017.

A Tecnologia Monsal é uma Hidrólise do tipo Biológica. A principais características deste Processo estão apresentadas a seguir:

- Processo que trabalha necessariamente com a combinação de Lodo Primário e Secundário;
- O teor de sólidos da mistura de lodo primário mais secundário é 10%;
- Há duas variantes do Monsal, que são o Monsal 42 e Monsal 55;
- Monsal 42: 3 dias de tempo de detenção; temperatura de 42 °C;



- Monsal 55: 1ª fase com 1,5 dias de tempo de detenção, temperatura de 42 °C; 2ª fase com 21 a 36 horas de tempo de detenção, temperatura de 55 °C; e produção de Lodo Classe (isento de patógenos);
- Encaminhamento para Digestor Anaeróbico Mesofílico com:
 - Taxa de Aplicação de 4,5 SSV/m³.dia;
 - Tempo de detenção de 15 dias;

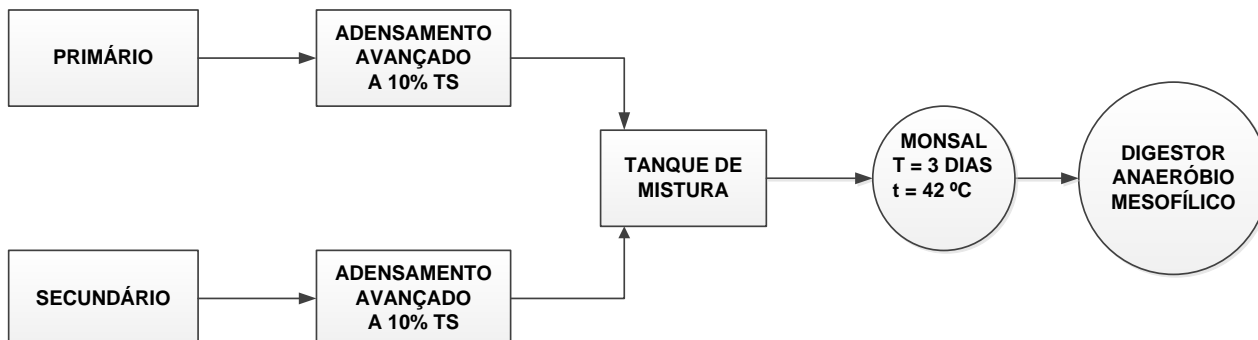


Figura 5.1: Configuração de Pré-Tratamento de Hidrólise através do Processo Monsal

Através da análise de processo da tecnologia Monsal, podemos fazer algumas suposições dos princípios dos fundamentos da tecnologia de processo.

Entendemos que a Monsal é um processo onde as fases de Hidrólise e Acidogênese da Digestão Anaeróbia ficam concentradas nesta fase do processo. No Monsal não há produção de Biogás, o que corroboraria a hipótese de não haveria o processo de Metanogênese. A questão de acidificação, que é um dos problemas em Digestor Anaeróbico, ficaria atenuada na medida em que se impõe nesta tecnologia um fluxo do tipo pistão/"plug-flow".

Monsal 42

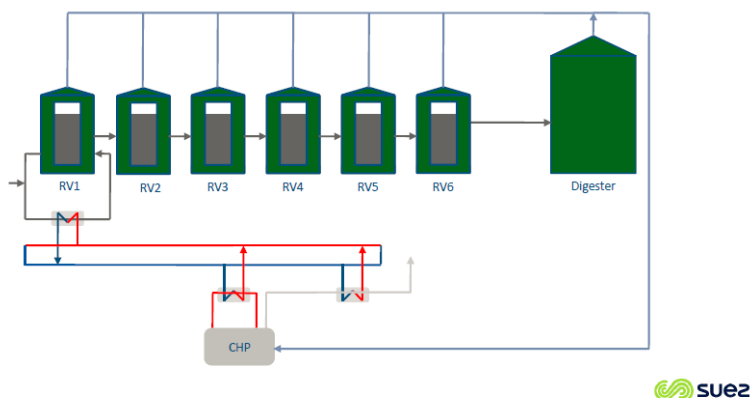


Figura 5.2: Esquema representativo do Monsal 42, com série de reatores pistão/"plug-flow"



Figura 5.3: Reator Monsal

6 RESUMO DAS TECNOLOGIAS DE HIDRÓLISE

TECNOLOGIA	TIPO DE LODO DE ENTRADA	REQUISITO DE ENTRADA	PARÂMETROS DE PROCESSO
Cambi	1º + 2º Só 2º	Desidratação a 18% Diluição a vapor (-3%) Diluição a 10%	T ciclo = 50 min T = 150 a 160°C P = 90 a 100 psi
Pondus	2º	Adensamento a 7% (1º e 2º)	t _d = 2 a 2,5 horas T = 65 – 70°C 1,5 a 2 L de NaOH (50%) por m ³ de Lodo 2º
Monsal	1º + 2º	Adensamento Avançado a 10%	t _d = 3 dias T = 42°C

Tabela 6: Parâmetros de Projeto das Tecnologias de Pré-Tratamento por Hidrólise

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Gerais

- No Brasil é comum o cenário de disposição do lodo da ETE em aterro sanitário e em troca o recebimento do chorume deste aterro. É recomendável a postura de uma posição preventiva de que este cenário não mais permaneça e haja a busca da incorporação de tecnologias que almejem a redução da geração do lodo para disposição final ou mesmo a incorporação de mudança de enfoque para a geração de recursos.
- O levantamento do Estado da Arte em Digestores Anaeróbios Mesofílicos encontrou diferentes parâmetros de dimensionamento que impactam o volume dos reservatórios. Entende-se que o conhecimento dos fundamentos de digestores anaeróbios ainda está em processo evolutivo, em parte devido às tecnologias de hidrólise do lodo, que acabam demandando novas investigações.
- Em qualquer alternativa técnica a ser considerada, deve ser considerada a melhoria nas operações preliminares como o Adensamento por Gravidade do Lodo Primário, bem como o Adensamento por Centrífugas do Lodo Secundário.
- Em qualquer alternativa técnica a ser considerada, deve ser considerada a checagem do sistema dos Digestores Anaeróbios Mesofílicos, de forma a trabalhar em regime de temperatura controlada, bem como possuir um sistema de mistura e homogeneização adequado.
- Além dos sistemas de mistura/homogeneização e aquecimento, recomenda-se a instalação de equipamentos de instrumentação e automação de forma controlar e monitorar o processo de Digestão Mesofílica de Lodo. Para cada Digestor Anaeróbio recomenda-se a instalação de Medidores de Teor de Sólidos de Entrada, Medidor de Vazão de Entrada e Medidor de Vazão de Biogás. Antes do Medidor de Biogás recomenda-se a instalação de sistema de remoção de umidade de forma a proporcionar uma maior acurácia nesta medição.
- De modo a proporcionar um melhor controle de processos na Fase Sólida recomenda-se que na fase de desidratação de lodo também haja a instalação de sensores on-line de sólidos (acoplados com Medidores de Vazão) de forma a monitorar a quantidade de sólidos gerados na fase anterior, bem



como a controlar a dosagem de polímero com base na carga de sólidos afluente ao sistema de desidratação de lodo.

- Estes monitoramentos do Fluxo de Sólidos servem de base para a construção de uma Linha de Base mais consistente e pode assim subsidiar com maior fundamentação projetos de expansão futura, bem como um maior conhecimento dos processos utilizados.
- Recomenda-se que estes dispositivos de Instrumentação e Automação locais da Fase Sólida, a saber: Adensamento Mecânica, Digestor Anaeróbio e Desidratação Mecânica estejam devidamente integrados com um Sistema Supervisório.
- Em qualquer alternativa técnica a ser considerada, recomenda-se a implantação da Co-Geração. A justificativa é que as tecnologias envolvidas em Digestores Anaeróbios envolvem a Demanda de Calor para o aquecimento dos próprios digestores bem como as tecnologias de Hidrólise também envolvem a demanda de calor.
- Para a Solução Convencional de Digestores Anaeróbios Mesofílicos, a Co-Geração apresenta um balanço energético favorável, pois a Energia Térmica de Arrefecimento do Motor é capaz de aquecer toda a carga de lodo afluente num gradiente térmico suficiente para atingir a faixa ótima de temperatura Mesofílica.
- Para a Tecnologia de Co-Geração dever ser prevista a instalação e/ou readequação do Aquecedor abastecido por biogás como Sistema redundante de Produção de Calor em relação a Co-Geração para o devido aquecimento do lodo dos Digestores Anaeróbios.
- Em relação ao Adensamento Mecânico de Lodo por Centrífugas, deparou-se com o equipamento de Adensamento da Centrisys THK que acopla uma tecnologia de Flotação associada a centrífuga, havendo a possibilidade de se ter um maior teor de sólidos e menor consumo de polímero. Para este tipo de equipamento, recomenda-se que o método de escolha se baseie em performance, pois os custos operacionais decorrentes deste tipo de equipamento impactam muito na avaliação global de desempenho.

7.2 Pré-Tratamento do Lodo Através da Hidrólise

- O Pré-Tratamento através de Hidrólise pode ser feito através dos Processos: Físico- Térmico; Físico Químico Térmico e Alcalino; Biológico: Térmico-Biológico;
- Todos os pré-tratamento através de hidrólise trabalham com teores de sólidos de lodo primário e secundário mais elevados que o usual, sendo adotados processos de pré-desidratação ou adensamento avançado.
- Como trabalham com lodo cru, estes processos de pré-desidratação ou adensamento avançado devem contar com sistema de captura e tratamento de odores;
- Os processos de pré-desidratação ou adensamento avançado acabam impactando o consumo de polímeros para condicionamento de lodo e podem representar um custo operacional significativo.
- As alternativas de Hidrólise de Lodo demandam energias térmicas diferentes devido às diferentes temperaturas de processo;
- Para o Processo de Hidrólise Térmica, uma configuração tecnológica atrativa é a adoção de processar somente o Lodo Secundário
- Os requisitos de teor de sólidos em cada alternativa de hidrólise impactam a demanda de energia térmica para aquecimento do lodo no Digestor Anaeróbio Mesofílico;
- As alternativas de Hidrólise de Lodo promovem a maior destruição de sólidos voláteis, ocasionando, portanto, uma maior produção de biogás e uma menor produção de lodo em base seca. Também há uma redução de lodo em base úmida pois a desidratação consegue alcançar teor de sólidos de 30%.
- Cálculos Preliminares indicam que as tecnologias de Hidrólise apresentam Balanço Térmico favorável para se fazer Secagem Térmica sem o uso de fonte externa de energia quando se utiliza a Co-Geração e aproveitamento do calor de arrefecimento e do gás de escape. Este tipo de configuração foi encontrado na Planta de Kenosha com o Sistema Pondus e Sistema de Secagem Térmica à baixa temperatura.
- A Fase Sólida envolve processos térmicos em suas diversas fases do processo. Para os processos de Hidrólise, com especial destaque para a Hidrólise Térmica, devem ser seguidos os requisitos estabelecidos na Norma Regulamentadora 13, NR 13, Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil, que tem como objetivo condicionar inspeção de segurança e operação de vasos de pressão, caldeiras e tubulações.



Agradecimentos

Ao pessoal da CAMBI: Joélcio Saturnino, Anselmo Teixeira, Harald Kleiven.

Ao pessoal da Centrisys, Pondus e Sulzle Klein: Guilherme Gomes, Christian Raeder, Joseph Hughes, Gerhard Forstner, Andreas Dünnebeil, Arpad Talasi.

Ao pessoal da DC Water: Sudhir Murthy, Christine deBarbadillo,

Ao pessoal da Kenosha Water Utility, Melissa Arnot,

Ao pessoal da Suez: Marcus Vallero, Federico Lagreca, Fabian Fenoglio

Ao pessoal da SABESP: Airton Checoni David, Luiz Yoshiharu Ito, Rosmeiry Vanzella Vicente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABU-ORF, M.; POUND, C.; SOBECK, R.; LOCKE, E.; BENSON, L.; BAILEY, W.; PEOT, C.; SULTAN, M.; CARR, J.; KHARKAR, S.; MURTHY, S.; DERMINASSIAN, R.; SHIH, G. DC WASA adopts thermal hydrolysis for anaerobic digestion pretreatment: conceptual design details for the largest Cambi™ system. Proceedings, WEFTEC (2009).
2. BARBER, W.P.F. Thermal hydrolysis for sewage treatment: a critical review. *Water Research*, 104, pp.53-71.
3. HASAN, M.; ZHANG, Q.; RIFFAT, R.; AL-OMARI, A.; MURTHY, S.; HIGGINS, M.J.; DE CLIPPELIER, H. Fundamental study on dewatering characteristics of wastewater sludge from different processes. WEFTEC, 2017.
4. HIGGINS, M. J.; MURTHY, S. N.; SCHAFFER, P.; COOPER, A.; KASIRGA, E.; LEE, K.; MACHYSKO, J.; FOUNTAIN, P.; KELLEHER, K. Dewatering characteristics of Cambi Thermal Hydrolysis biosolids: Centrifuges vs. BFPs. Proceedings WEFTEC, 2011.
5. LETTINGA, G.; REBAC, S.; ZEEMAN, G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. *TRENDS in Biotechnology* Vol.19, nº09, p.363-370, Sept 2001.
6. LOOMIS, P.; JACOBS, T.; MATHUR, S.; GUVEN, E.; HURTADO, D.; CHRISTY, P.; Thermal hydrolysis, the next generation. Proceedings WEFTEC, WEF, 2016.
7. METCALF & EDDY, *Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery*, 5th Edition, McGraw Hill, 2014.
8. MIKI, M.K. Vicissitudes dos digestores anaeróbios de lodo no Brasil. *Revista DAE*, Edição 207, Volume 65, setembro- dezembro, 2017, pp.20-33. DOI:10.4322/dae.2016.032
9. OERKE, D.; HIGGINS, M.; MURTHY, S.; KHARZAR, S.; DE BARBADILLO, C.; CHIU, C.; TSE, R.; HO. H.; PANTER, K.; FOUNTAIN, P.; RIZZI, S.; REISTAD, B.; CAMPBELL, R. Proceedings WEFTEC, WEF, 2017.
10. US EPA, *Biosolids technology fact sheet, Heat drying*, 2006.
11. WATER ENVIRONMENT FEDERATION, *Operation of Water Resource Facilities, Manual of Practice No 11, 7TH EDITION*, 2017
12. WATER ENVIRONMENT FEDERATION; AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. *Design of Water Resources Recovery Facilities, WEF Manual of Practice nº 8, ASCE Manuals and Reports on Engineering, Practice nº 76*, 2017.