

WETLANDS DE TRATAMENTO DE LODO: DESEMPENHO OPERACIONAL E VIABILIDADE ECONÔMICA

Christoph Platzer⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Técnica de Munique (TUM). Doutor em Engenharia Sanitária pela Universidade Técnica de Berlim (TU Berlin). Sócio-diretor da Rotária do Brasil.

Heike Hoffmann⁽²⁾

Bióloga pela Universidade de Greifswald. Doutora em Ecologia dos Sistemas Aquáticos pela Universidade de Rostock. Sócia-diretora da Rotária do Brasil.

Caio Angel Voltolini⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA/UFSC). Sócio da Rotária do Brasil.

Bruno Eduardo dos Santos Silva⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com período sanduíche pela Universidade de Melbourne (UoM). Engenheiro Sanitarista da Rotária do Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Rua Teodoro Manoel Dias, 421 - Santo Antônio de Lisboa - Florianópolis - SC - CEP: 88050-540 - Brasil - Tel: +55 (48) 3234-3164 - e-mail: chr@rotaria.net

RESUMO

Os wetlands de tratamento de lodos (WLs) são tecnologias sustentáveis do ponto de vista ecológico, econômico e operacional, desde que sejam adequadamente projetados, construídos e operados para tratar os lodos provenientes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e tanques sépticos. No entanto, existem poucas experiências documentadas em escala real no Brasil que comprovem a eficácia dessa tecnologia e incentivem sua adoção pelo setor de saneamento, contribuindo assim para a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico. Nesse contexto, este artigo apresenta as perspectivas do uso de WLs no Brasil com base nas experiências dos autores, em particular, no monitoramento realizado em um WL que está em operação há 40 meses. O WL foi projetado para suportar cargas entre 40 kg ST/m².ano e 60 kg ST/m².ano. Os dados de monitoramento atuais desse WL, projetado para uma vida útil de 10 anos, indicam uma possível extensão para 16 a 20 anos de operação, destacando assim a importância de um monitoramento regular, com frequência mínima anual, para garantir o seu desempenho adequado.

PALAVRAS-CHAVE: Canteiro de Mineralização, Tratamento de lodos, Operação de ETEs.

INTRODUÇÃO

No contexto da universalização dos serviços de saneamento, a gestão do lodo apresenta uma lacuna significativa a ser preenchida. Com o aumento do número de estações de tratamento de esgoto (ETEs), incluindo as descentralizadas, torna-se cada vez mais importante encontrar soluções sustentáveis para o tratamento e a disposição adequada dos lodos gerados. Além disso, a crescente demanda por soluções de saneamento não baseadas em redes de esgoto, chamadas de "serviços de saneamento sobre rodas", que visam implementar a coleta, tratamento e destino final controlado de lodos de tanques sépticos ou fossas individuais, também requer tecnologias de tratamento economicamente viáveis, ecologicamente corretas e socialmente justas.

Do ponto de vista econômico, a gestão de lodos tradicionalmente representa uma parcela considerável dos custos operacionais de uma ETE, geralmente entre 20% e 60% (ANDREOLI *et al.*, 2007; UGGETTI *et al.*, 2010). Devido à complexidade técnica, econômica e legal envolvida, era comum que a questão do gerenciamento de lodos fosse negligenciada na fase de projeto, resultando na necessidade de soluções emergenciais durante a operação. Isso acarretou custos ainda mais elevados, dificuldades operacionais e impactos ambientais significativos (ANDREOLI *et al.*, 2007; GHOLIPOUR *et al.*, 2022).

A fim de reduzir os impactos associados ao transporte de lodo e cumprir as exigências para sua destinação final, existem tecnologias técnicas (centrífuga, filtro prensa) e naturais (leito de secagem, secagem solar) que podem desidratar, estabilizar e até mesmo secar o lodo no local da ETE (ANDREOLI *et al.*, 2007; UGGETTI *et al.*, 2010). No entanto, essas tecnologias envolvem manutenção e custos operacionais permanentes, inclusive para

o transporte e destinação do produto, o que inviabiliza sua aplicação em ETEs de menor porte e ETEs descentralizadas que possuem recursos limitados para suas despesas operacionais.

Nesse contexto, os Wetlands de Tratamento de Lodo (WLs) surgem como uma tecnologia promissora para suprir essa necessidade. Originalmente desenvolvida na Europa para tratar o lodo proveniente das ETEs, principalmente o lodo em excesso de sistemas de lodo ativado, essa tecnologia está em operação há mais de 40 anos em países como a Dinamarca e Alemanha (NIELSEN e STEFANAKIS, 2020).

O sucesso dessa tecnologia se deve à sua superioridade em certas condições em relação a outras tecnologias, principalmente devido à sua baixa exigência operacional, que dispensa completamente a necessidade de insumos adicionais. Além disso, os WLs proporcionam uma capacidade de armazenamento de vários anos antes da primeira retirada do produto, o que resulta em uma redução significativa nos custos de transporte. Se completa até a mineralização do produto, ou seja, tanto a secagem como a decomposição da matéria orgânica vão além do que é alcançado por tecnologias que não possuem macrófitas, como o leito de secagem (CUI *et al.*, 2015), o que abre possibilidades inclusive para seu reuso direto na agricultura (NIELSEN, 2010). Além disso, o volume do lodo é reduzido a cerca de 2% do seu volume inicial, podendo chegar a 40% de secagem em condições ideais (COOPER *et al.*, 2004; BRIX, 2017; GHOLIPOUR *et al.*, 2022).

Os WLs são compostos por uma série de 4 a 18 canteiros separados (Figura 1), com altura variando entre 1,80 m e 2,00 m. O fundo de cada canteiro possui um sistema de drenagem e é coberto com uma ou duas camadas de brita, seguidas por uma camada de areia que serve como substrato para o crescimento de macrófitas. A altura restante, de aproximadamente 1,60 m, é utilizada como volume para receber, desidratar, mineralizar e armazenar o lodo depositado ao longo dos anos de funcionamento do sistema (COOPER *et al.*, 2004; NIELSEN, 2005).

Figura 1 – Esquema de tratamento de lodo no Wetland com 4 ou mais canteiros separados



Fonte: Rotária do Brasil.

Durante o processo de secagem do lodo nos Wetlands, uma pequena parte da umidade é absorvida e evaporada pelas macrófitas, enquanto a maior parte drena como percolado, apoiado pelas raízes de macrófitas, até o fundo do canteiro, onde será bombeada para o tratamento final (NIELSEN, 2005). A operação dos WL ocorre de forma rotativa entre os canteiros, seguindo um esquema fundamental para a sustentabilidade do sistema. Durante um período específico de 1 a 14 dias, o lodo líquido é espalhado em um único canteiro por vez, enquanto os demais canteiros estão em processo de secagem. Nesse processo, é crucial garantir que o lodo seja distribuído de maneira uniforme em toda a superfície do canteiro, e em uma quantidade adequada que permita sua secagem antes que o canteiro seja recarregado.

A proposta deste trabalho é fornecer, com base em um estudo de caso prático após 40 meses em operação, experiências para a escolha do melhor sistema de desidratação de lodo em ETEs brasileiras, considerando tanto a qualidade do produto final como questões econômicas.

OBJETIVO

Apresentar o monitoramento de um canteiro de mineralização brasileiro em escala real, ressaltando os principais aspectos responsáveis para que essa tecnologia seja sustentável ecologicamente, economicamente e operacionalmente.

METODOLOGIA UTILIZADA

Especificamente, as recomendações são apresentadas com base na sua aplicação durante operação dos primeiros 40 meses de um WL brasileiro. Os resultados obtidos com este estudo de caso até o momento também foram comparados com indicações e experiências internacionais.

DESCRIÇÃO DA ETE UTILIZADA COMO ESTUDO DE CASO

A ETE onde se localiza o WL (Figura 2) pesquisado situa-se no estado do Paraná, e tem como destino o lançamento de seu efluente tratado no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Inicialmente composta por um sistema de lagoas, foi adaptada em 2019 para atender as exigências legais crescentes. Foram instalados dois reatores em batelada sequencial (SBR), enquanto a antiga lagoa de maturação foi transformada no WL para desidratar e estabilizar o lodo excedente dos reatores SBR. A Estação foi projetada para tratar 30 L/s de esgotos, com picos máximos de 45 L/s, e iniciou sua operação em dezembro de 2019.

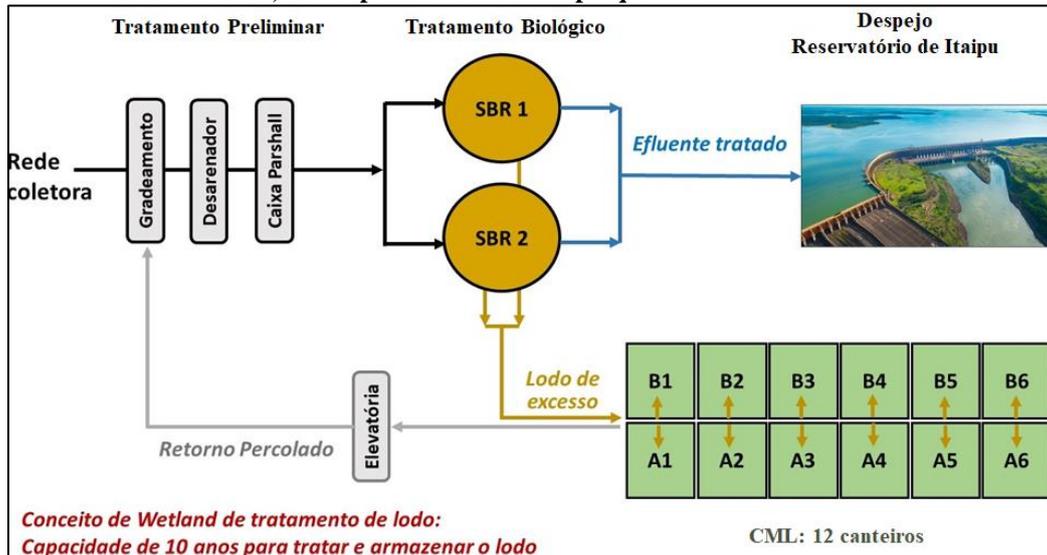
Figura 2 – Localização da ETE e seu respectivo Wetland de Lodo pesquisado



Fonte: adaptado de *Google Earth*.

Após um tratamento preliminar, o esgoto é tratado biologicamente por meio dos 2 reatores SBR, operando em paralelo. Três ciclos de tratamento por dia são controlados automaticamente para cada SBR. Ao final de cada ciclo, o efluente tratado é descarregado e, em seguida, o lodo em excesso é removido automaticamente por meio de um tempo de bombeamento ajustável de 3 a 5 minutos (6 vezes ao dia, intervalos de 4 horas). O efluente tratado atende a padrões de tratamento elevados, com remoção de 95% de COD e 99% de DBO₅, nitrificação de 99%, desnitrificação de 75%, e 50% de remoção biológica de fósforo. O volume de lodo nos reatores SBR é mantido pela remoção de lodo em excesso em uma concentração constante de 350 mL/L. Uma média de 14 toneladas de ST/mês é aplicado nos leitos de mineralização (Figura 3).

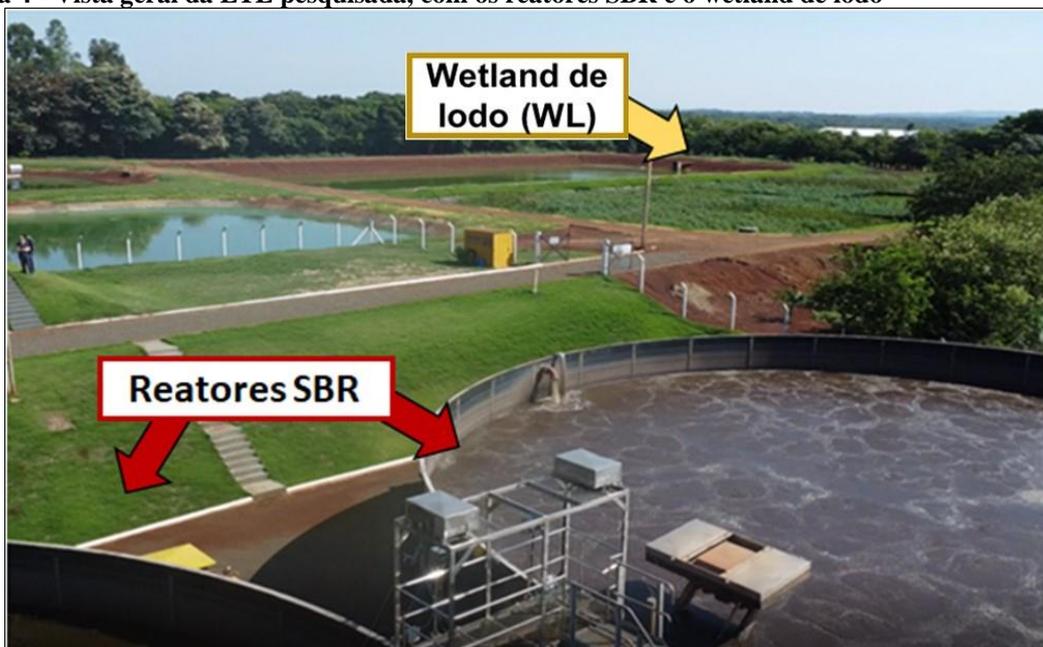
Figura 3 – Linhas de efluente, lodo e percolado da ETE pesquisada



Fonte: Rotária do Brasil.

O WL instalado possui uma área de 4.334 m², dividida em 12 leitos de 361 m² (Figura 4), revestidos com membrana de alta resistência (HDPE). Nielsen (2005) recomenda uma quantidade mínima de 8 leitos para que seja possível obter um balanço adequado entre os períodos de carga e de descanso.

Figura 4 - Vista geral da ETE pesquisada, com os reatores SBR e o wetland de lodo



Fonte: Rotária do Brasil.

O sistema de drenagem na parte inferior de cada leito é composto por 2 tubos de drenagem cobertos por 20 cm de brita (19-25mm) e 20 cm de areia grossa. Com isso, uma altura livre de aproximadamente 1,80 m é mantida para o armazenamento do lodo. O material filtrante é um fator chave para a desidratação (BRIX, 2017).

A alimentação com lodo em excesso do SBR foi projetada para ocorrer por meio de 3 pontos de descarga em cada leito, controlados por válvulas automáticas. O ciclo de alimentação dos leitos foi planejado para que cada unidade recebesse lodo em 6 descargas por dia (a cada intervalo de 4 horas), durante um período de 7 dias, descansando até que todas as demais recebessem carga (77 dias). No entanto, esse período de repouso deve ser

ajustado de acordo com as condições de secagem observadas. Dependendo das condições climáticas, o tempo de repouso pode variar de 2 dias a algumas semanas (KENGNE e TILLEY, 2014)(KENGNE e TILLEY, 2014)(KENGNE e TILLEY, 2014)(KENGNE e TILLEY, 2014). É importante destacar que, após a descarga, a parte mais concentrada do lodo fica nas camadas superiores do leito, por isso é necessário aguardar a secagem antes de iniciar um novo ciclo de alimentação, a fim de evitar obstruções (NIELSEN, 2005; NIELSEN, 2010; UGGETTI *et al.*, 2010; PERUZZI *et al.*, 2017).

O WL foi dimensionado para receber de 40 a 60 kg ST/m².ano ao longo de um período de 10 anos, levando em consideração a carga total do SBR e a produção adicional de lodo devido à eliminação de fósforo por precipitação. Nielson (2005) aponta que um WL corretamente dimensionado e operado, resulta em um período de enchimento dos leitos de 10 anos com bons resultados.

Na Europa, são comumente aplicadas taxas de 40 a 60 kg ST/m².ano (NIELSEN, 2005; KONÉ *et al.*, 2011). Na Dinamarca, observaram-se problemas de obstrução quando utilizaram-se taxas próximas a 100 kg ST/m².ano, levando ao estabelecimento de um limite máximo de 60 kg ST/m².ano para lodos ativados em excesso e 50 kg ST/m².ano para lodo digerido proveniente de digestores, lodos com alto teor de gordura, ou com idade inferior a 20 dias (NIELSEN, 2010).

O WL deste estudo foi dimensionado para períodos de armazenamento de lodo de 10 anos. Durante os 10 anos de operação, o processo natural de desidratação e estabilização do lodo será concluído e o lodo seco será empilhado a uma altura de 1,80 m.

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA CAMADA DE LODO

Anualmente, realizou-se a medição da altura da camada de lodo em cada canteiro, bem como observou-se a qualidade e consistência do lodo em cada um deles. Isso resultou em ajustes nas orientações operacionais para a alimentação dos canteiros. A Figura 5 apresenta exemplos das medições realizadas.

Figura 5 - Medição da camada de lodo durante a operação do WL e análise da consistência



Fonte: (HOFFMANN *et al.*, 2022)

METODO PARA A ANÁLISE DO VALOR PRESENTE

Para analisar o valor presente, foram utilizados os custos de investimento (CAPEX) e operação (OPEX) dos Wetlands de Tratamento de Lodo (WL) e comparados com os custos de desidratação mecânica utilizando centrífugas.

OPEX

O custo da energia foi calculado levando em consideração uma combinação de horas de pico e horas fora de pico, com um valor de 0,33 R\$/kWh. O custo de manutenção dos equipamentos foi estimado em 3% do CAPEX. A distância até o aterro foi estabelecida em 30 km, com um custo de R\$ 100 por tonelada. Para o equipamento de desidratação mecânica, foi considerada a presença de um operador e 25% de um electricista, enquanto no caso dos WLs, foi considerado o tempo de trabalho correspondente a 25% de um operador. No caso dos Wetlands, foi considerado que, a partir do décimo ano, o lodo teria sua disposição final, enquanto para a centrífuga, isso foi considerado a partir do primeiro ano. A base para o cálculo do lodo foi de 260 toneladas de sólidos totais por ano. Para a centrífuga, foi considerada uma eficiência de desidratação de 20%. Para os Wetlands, foi considerada uma umidade de 35% após o repouso final, embora esse número possa ser superado nas condições climáticas do Paraná, conforme indicado pela literatura (COOPER *et al.*, 2004; BRUX, 2017; GHOLIPOUR *et al.*, 2022).

VPL

Foi utilizada uma taxa de desconto de 8,2% e uma taxa de inflação para a energia elétrica de 2,19%. Para simplificar em favor da solução mecanizada, considerou-se que o reinvestimento nos equipamentos ocorre a cada 15 anos. O período total de análise do Valor Presente Líquido (VPL) foi estabelecido em 30 anos, que equivale a um período típico para a vida útil da construção civil. Uma vez que não há cálculo de receita, o VPL resulta negativo em ambos os casos. O valor mais baixo em termos absolutos indica a melhor solução econômica.

RESULTADOS E ANÁLISE

ESTUDO DE CASO: ASPECTOS OPERACIONAIS DO WL

A operação de um wetland de tratamento de lodo se reflete sobre um macro ciclo de *start-up* com cargas reduzidas para acondicionamento das macrófitas, seguido de adaptação da carga para o valor projetado, retirada do lodo ao final do período, e reestabelecimento dos canteiros (COOPER *et al.*, 2004; NIELSEN, 2010; KENGNE e TILLEY, 2014).

Na ETE utilizada como base para o estudo, antes do início da operação do WL, foi adotada a irrigação das macrófitas com o efluente de uma das lagoas próximas à unidade. O *start-up* ocorreu em dezembro de 2019 e foi seguido por um período excepcionalmente seco, o que impossibilitou a manutenção do modelo de carregamento de 7 dias para os leitos do WL. Esse modelo previa que cada um dos 12 leitos recebesse uma camada máxima de lodo durante 7 dias, que se distribuiria uniformemente sobre a superfície e, posteriormente, secaria completamente enquanto os demais leitos estavam sendo alimentados (77 dias). No entanto, nessas condições climáticas, as macrófitas começaram a secar. Como resultado, o cronograma operacional foi ajustado para que 2 leitos recebessem a carga de lodo em conjunto durante 1 a 2 dias. Isso permitiu o completo estabelecimento da vegetação (Figura 6), mas resultou em uma distribuição insuficiente do lodo devido à carga aplicada em apenas 2 leitos simultaneamente. Uma investigação de campo revelou que a maior concentração de lodo ocorria nas áreas ao redor dos três pontos de alimentação.

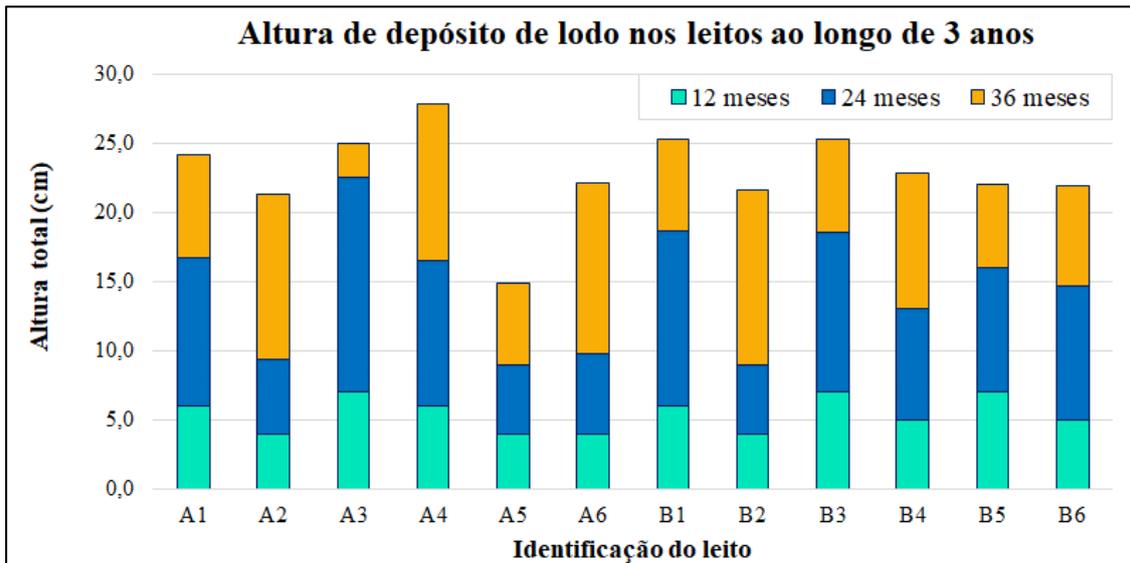
Figura 6 - Desenvolvimento do WL após dois anos de operação



Fonte: Rotária do Brasil.

Durante essa investigação, realizada 2 anos após o início da operação, cada leito foi minuciosamente inspecionado, e a altura da camada de lodo acumulado ao redor dos pontos de alimentação e nas áreas periféricas foi cuidadosamente medida (Figura 5). Observou-se que a maioria das áreas apresentaram uma desidratação satisfatória, com uma camada de lodo entre 3 e 12 cm (Imagens da esquerda da Figura 5). No entanto, em alguns casos, foram observadas áreas úmidas, indicando condições anaeróbias. Nessas áreas, a camada de lodo atingiu uma altura entre 22 e 32 cm (Imagens da direita da Figura 5). Em oito leitos, essas áreas críticas eram relativamente pequenas, enquanto dois leitos estavam completamente secos. Por outro lado, dois leitos apresentavam áreas críticas maiores e, por esse motivo, foram retirados do ciclo de alimentação até que o lodo acumulado estivesse completamente seco. Isso demonstra que as células dos canteiros podem se comportar de maneira diferente, e por esse motivo, é recomendável realizar uma investigação aprofundada por célula a cada 6-12 meses, anotando a altura da camada de depósito de lodo em cada célula de forma sistemática (Figura 7).

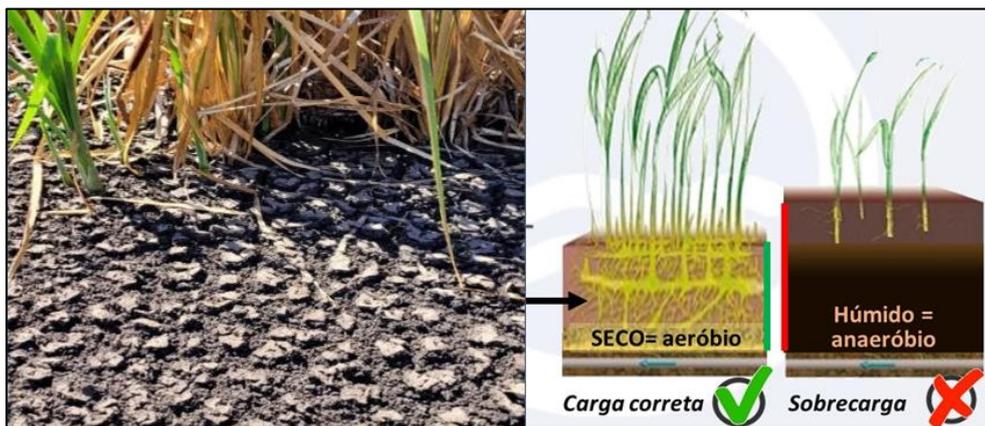
Figura 7 - Altura do depósito de lodo no WL ao longo de 3 anos, por leito



Fonte: Rotária do Brasil.

Para o terceiro ano de operação, foi implementada uma estratégia de alimentação com o objetivo de preservar a permeabilidade do canteiro e garantir uma distribuição uniforme do lodo, evitando longos períodos de repouso que possam causar estresse às plantas. Essa estratégia consiste em: i) carregar cada leito individualmente em um período de 1 a 2 dias; ii) retomar a alimentação somente quando a carga de lodo anterior estiver completamente seca, apresentando rachaduras profundas e crostas secas visíveis na superfície do lodo (Figura 8).

Figura 8 - Sinais visuais de camada superficial do canteiro já seca

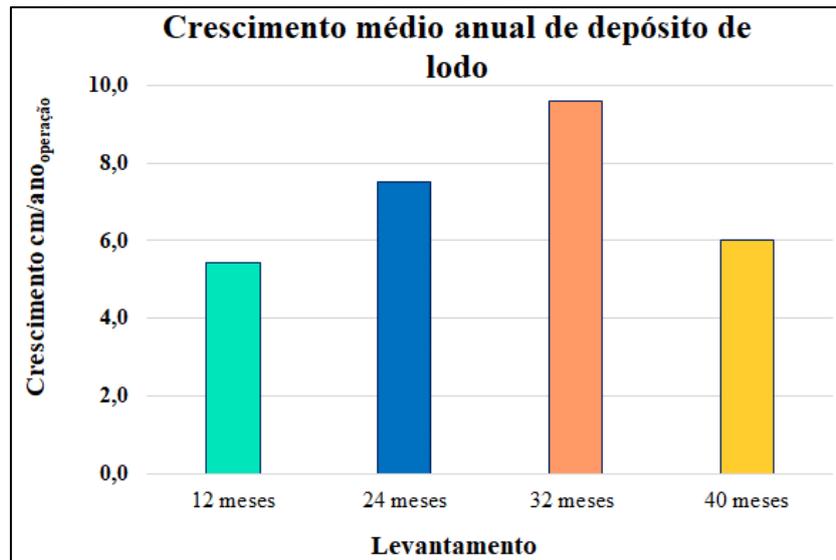


Fonte: Rotária do Brasil.

A Figura 9 apresenta o crescimento médio anual da camada de lodo ao longo do tempo. É interessante observar o comportamento dos Wetlands durante uma fase muito úmida (medido após 32 meses) e após um período muito seco (medido após 40 meses). Aos 32 meses, observa-se um crescimento médio de quase 10 cm por ano, enquanto aos 40 meses de operação, o crescimento médio anual da camada de lodo foi de 8 cm para uma carga de 40 kg ST/m². ano. De fato, em alguns canteiros, a camada de lodo após 32 meses estava mais espessa do que após 40 meses, o que claramente mostra a influência de uma boa desidratação e mineralização (Figura 8, imagem da direita). Vale ressaltar que o projeto dos Wetlands foi elaborado considerando um período de armazenamento de 10 anos, mas o crescimento atual indica uma capacidade do canteiro em receber carga por até 20 anos antes da necessidade de remoção.

O monitoramento do crescimento da camada de lodo é essencial para garantir que o tempo de armazenamento do lodo esteja dentro das expectativas.

Figura 9 - Crescimento da camada de lodo observado anualmente



Fonte: Rotária do Brasil.

RESULTADO DA ANÁLISE ECONÔMICA

CAPEX

Com base na estação de tratamento de esgoto (ETE) utilizada como estudo de caso neste trabalho, obteve-se um CAPEX de R\$ 1.750.000,00 para os Wetlands de tratamento de lodo. Para fins de modelagem, estimou-se o CAPEX para substituir os Wetlands por um sistema mecanizado de desidratação. O CAPEX para essa solução é ligeiramente mais baixo do que para os Wetlands, com um valor de R\$ 1.470.000,00.

OPEX

O cálculo dos custos anuais de operação para a solução dos Wetlands totaliza R\$ 38.987,00, incluindo manutenção e mão de obra, além de R\$ 8.860,00 em energia. O lodo possui uma umidade mínima de 35% ao final do período de repouso final. Conseqüentemente, a quantidade de lodo para disposição final é de 743 t/ano, totalizando um custo de R\$ 95.839,00/ano. Nos primeiros 10 anos, o OPEX é de aproximadamente R\$ 49.000/ano, e após a primeira remoção de lodo, o valor aumenta para cerca de R\$ 150.000,00/ano.

A experiência prática demonstra que a quantidade total de lodo, devido ao processo de mineralização em longo prazo, reduz em 20%. Como resultado, a quantidade total de lodo para disposição é de 594 t/ano, com um custo de R\$ 76.671,00/ano.

No caso da centrífuga, os custos de manutenção e mão de obra somam R\$ 134.113,00, enquanto os custos com produtos químicos totalizam R\$ 61.627,00 e com energia são R\$ 43.493,00. A quantidade de lodo para disposição final com teor de sólidos de 20% é de 1300 t/a, resultando em um custo anual de R\$ 173.877,00/ano. O OPEX total no primeiro ano é de R\$ 413.000/ano.

VPL

Conforme indicado nos métodos, foi utilizado um período de comparação de 30 anos, com um reinvestimento dos equipamentos após 15 anos. Como mencionado anteriormente, o VPL é negativo e o menor valor absoluto indica a melhor solução econômica. Observa-se na Tabela 1 que as duas soluções com WL são cerca de 4 vezes mais econômicas do que a solução com desidratação mecanizada.

Tabela 1 - VPL das soluções analisadas

Solução	VPL (R\$)
Wetland de tratamento de lodo	-1.325.979,76

Solução	VPL (R\$)
Wetland de tratamento de lodo considerando a mineralização	-1.241.667,06
Centrífuga	-5.034.592,83

CONCLUSÕES

O primeiro wetland de tratamento de lodo (WL) do estado do Paraná apresentou resultados promissores durante os primeiros 40 meses de operação. O projeto inicial previa a remoção de lodo a cada 10 anos. No entanto, os dados atuais indicam que a estabilização do lodo é muito mais eficiente do que o esperado.

Inicialmente, esperava-se um acúmulo de lodo de 18 cm por ano, mas os resultados atuais mostraram um acúmulo de apenas 8 cm por ano com a carga inicial de 40 kg ST/m².ano. Mesmo considerando um acúmulo máximo de 12 cm, com uma carga de até 60 kg ST/m², isso resultaria em um armazenamento estendido de pelo menos 16 anos.

As experiências destacaram a importância de verificar a situação operacional dos leitos pelo menos uma vez por ano, especialmente nos primeiros anos, uma vez que os operadores da planta não possuem experiência para avaliar o estado dos WL. Essa prática é essencial para garantir e até mesmo estender a vida útil do sistema. Além disso, canteiros de mineralização bem projetados e operados podem fornecer subsídios para o desenvolvimento de diretrizes técnicas que incentivem o reuso agrícola de lodos.

Além do resultado técnico-operacional, obteve-se um resultado de grande relevância econômica. O VPL dos Wetlands de tratamento de lodo mostrou ser cerca de 4 vezes mais econômico do que a desidratação mecanizada. No entanto, é importante destacar que a comparação se baseia apenas nos custos de investimento, o que traz uma vantagem leve para a solução mecanizada. Ou seja, em uma licitação de menor custo CAPEX, a solução de Wetlands de tratamento de lodo não seria vantajosa. No entanto, essa vantagem em custos já se equilibra após 1 ano de operação. No caso em análise, considerando o CAPEX mais 1 ano de OPEX, verifica-se que os WLs já se tornam mais econômicos do que a solução mecanizada.

Com base nas experiências apresentadas e com o objetivo de buscar as melhores opções para o saneamento, é recomendado utilizar a possibilidade oferecida pela Lei de Licitações 13.303/2016 de uma licitação integrada. Nessa licitação, seria deixada em aberto a solução para a desidratação, mas incluindo pelo menos 1 ano de operação, preferencialmente 3 anos de operação. Essa abordagem auxilia na garantia de um bom funcionamento dos Wetlands de tratamento de lodo, ao mesmo tempo em que abre o mercado para soluções ecologicamente e economicamente atrativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. *Sludge Treatment and Disposal*. IWA Publishing, 2007. ISBN 9781780402130. Disponível em: < <https://doi.org/10.2166/9781780402130> >. Acesso em: 5/24/2023.
2. BRIX, H. *Sludge Dewatering and Mineralization in Sludge Treatment Reed Beds*. Water, v. 9, n. 3, 2017. ISSN 2073-4441.
3. COOPER, P., WILLOUGHBY, N., COOPER, D. *The Use of Reed-Beds for Sludge Drying*. Water and Environment Journal, v. 18, n. 2, p. 85-89, 2004. ISSN 1747-6585.
4. CUI, Y., ZHANG, S., CHEN, Z., CHEN, R., DENG, X. *Greenhouse gas emissions from sludge treatment reed beds*. Water Sci Technol, v. 71, n. 7, p. 1011-8, 2015. ISSN 0273-1223 (Print). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25860703> >.
5. GHOLIPOUR, A., FRAGOSO, R., DUARTE, E., GALVAO, A. *Sludge Treatment Reed Bed under different climates: A review using meta-analysis*. Sci Total Environ, v. 843, p. 156953, Oct 15 2022. ISSN 1879-1026 (Electronic). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35772550> >.

6. HOFFMANN, H., VOLTOLINI, C. A., BORBA, A. L. B., BITTENCOURT, S., DUMA, M., S, P. E. *Operational experiences with a sludge treatment wetland as part of a municipal wastewater treatment plant in Brazil* IWA 17th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Lyon, França: IWA 2022.
7. KENGNE, I. M., TILLEY, E. A. *Planted Drying Beds*. 2014.
8. KONÉ, D., DODANE, P. H., BEMMO, N., AKOA, A., KENGNE, E. S., KENGNE, I. M. *Vertical-flow constructed wetlands as an emerging solution for faecal sludge dewatering in developing countries*. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, v. 1, n. 1, p. 13-19, 2011. ISSN 2043-9083.
9. NIELSEN, S. *Sludge reed bed facilities: operation and problems*. Water Science and Technology, v. 51, n. 9, p. 99-107, 2005. ISSN 0273-1223.
10. NIELSEN, S., STEFANAKIS, A. I. *Sustainable Dewatering of Industrial Sludges in Sludge Treatment Reed Beds: Experiences from Pilot and Full-Scale Studies under Different Climates*. Applied Sciences, v. 10, n. 21, 2020. ISSN 2076-3417.
11. NIELSEN, S. C. D. J. *Sludge treatment in reed beds systems – development, experience – treatment of water works sludge and sas - cases*. 15th European Biosolids and Organic Resources Conference. AQUAENVIRO: AquaEnviro 2010.
12. PERUZZI, E., MACCI, C., DONI, S., IANNELLI, R., MASCIANDARO, G. *Stabilization process in reed bed systems for sludge treatment*. Ecological Engineering, v. 102, p. 381-389, 2017. ISSN 09258574.
13. UGGETTI, E., FERRER, I., LLORENS, E., GARCIA, J. *Sludge treatment wetlands: a review on the state of the art*. Bioresour Technol, v. 101, n. 9, p. 2905-12, May 2010. ISSN 1873-2976 (Electronic). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20045312> >.