

5 PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE REATORES ANAERÓBIOS POR LODOS ATIVADOS

Marcos von Sperling, Adrianus C. van Haandel, Eduardo Pacheco Jordão, José Roberto Campos, Luiz Fernando Cybis, Miguel Mansur Aisse, Pedro Alem Sobrinho

5.1 INTRODUÇÃO

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado, em nível mundial, para o tratamento de águas residuárias domésticas e industriais, em situações em que uma elevada qualidade do efluente é necessária e a disponibilidade de área é limitada. No entanto, o sistema de lodos ativados inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em operação mais sofisticada. Outras desvantagens são o consumo de energia elétrica para aeração e a maior produção de lodo.

Até o presente, a maior aplicação do sistema de lodos ativados tem sido como tratamento direto de efluentes domésticos ou industriais. Mais recentemente, a opção de utilização do sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios passou a ser pesquisada e utilizada, em função de inúmeras vantagens, principalmente associadas ao menor consumo de energia elétrica e à menor produção de lodo, mantendo-se qualidade do efluente comparável ao de um sistema de lodos ativados clássico.

O presente capítulo descreve inicialmente as principais configurações existentes do sistema clássico de lodos ativados, para depois apresentar a variante de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. A aplicabilidade, vantagens e desvantagens de cada sistema são também apresentadas, permitindo uma seleção adequada do sistema a ser utilizado. Após tal, o capítulo concentra-se na alternativa de lodos ativados como pós-tratamento, apresentando os critérios e parâmetros de projeto, construção e operação. Os itens 5.1 e 5.2 baseiam-se em VON SPERLING (1997), no que diz respeito à descrição dos sistemas de lodos ativados convencional e de aeração prolongada.

Os seguintes itens são partes integrantes e a essência de qualquer sistema de lodos ativados de fluxo contínuo (Figura 5.1):

- *tanque de aeração (reator)*
- *tanque de sedimentação (decantador secundário)*
- *recirculação de lodo*
- *retirada de lodo excedente*

Na realidade, como será visto adiante neste capítulo, o reator nem sempre permanece aerado. No entanto, apenas por questão de clareza e simplicidade, mantém-se a designação de reator aerado, reator aeróbio ou tanque de aeração.

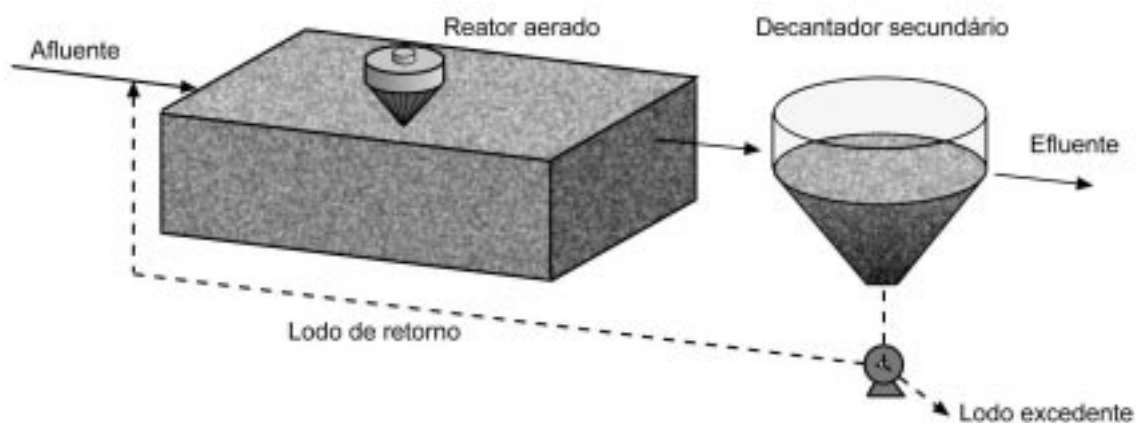


Figura 5.1 - Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados

No reator aerado ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, de nitrogênio e de fósforo. A biomassa se utiliza do substrato presente no esgoto aflente para se desenvolver. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. Parte dos sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário é recirculada para o reator, para se manter uma desejada concentração de biomassa no mesmo, a qual é responsável pela elevada eficiência do sistema.

A biomassa é separada no decantador secundário devido à sua propriedade de flocular e de sedimentar. Tal se deve à produção de uma matriz gelatinosa, que permite a aglutinação das bactérias, protozoários e outros microrganismos, responsáveis pela remoção da matéria orgânica, em flocos macroscópicos. Os flocos possuem dimensões bem superiores às dos microrganismos, individualmente, o que facilita sua sedimentação (Figura 5.2).



Figura 5.2 - Representação esquemática de um floco de lodo ativado

Em virtude da recirculação do lodo, a concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração, nos sistemas de lodos ativados, é bastante elevada. Nestes, o tempo de detenção do líquido (tempo de detenção hidráulica) é baixo, da ordem de horas, implicando em que o volume do reator seja bem reduzido. No entanto, devido à recirculação dos sólidos, estes permanecem no

sistema por um tempo superior ao do líquido. O tempo de retenção dos sólidos é denominado *tempo de retenção celular* ou *idade do lodo*, a qual é definida como a relação entre a quantidade de lodo biológico existente no reator e a quantidade de lodo biológico removida do sistema de lodos ativados por dia. É esta maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência dos sistemas de lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos.

Um outro parâmetro utilizado, na prática, no processo de lodos ativados, é a relação Alimento / Microrganismos (A/M), definida como a quantidade de alimento (DBO) fornecida por dia por unidade de biomassa do reator (representada pelos SSVTA – sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração), e expressa em kgDBO/kgSSVTA.dia. Como os microrganismos têm uma capacidade limitada de consumir o substrato (DBO) na unidade de tempo, uma elevada relação A/M pode significar maior oferta de matéria orgânica biodegradável do que a capacidade da biomassa do sistema pode consumir, resultando sobra de substrato no efluente final. Já baixos valores de A/M significam que a oferta de substrato é inferior à capacidade de sua utilização pelos microrganismos do sistema de lodos ativados, os quais podem vir a consumir praticamente toda a matéria orgânica do esgoto afluente, bem como a própria matéria orgânica de constituição celular. Elevadas idades do lodo estão associadas a baixos valores de A/M, e vice-versa.

Para efeito de comparação, os reatores anaeróbios tipo UASB possuem também retenção de biomassa no compartimento de reação, onde se desenvolve um manto de lodo, que é atravessado pelo esgoto, e uma recirculação de parte da biomassa, que é carregada pela fase líquida efluente desse compartimento. Esta recirculação é alcançada através de sua sedimentação no compartimento de decantação, seguida de retorno, por simples gravidade, para o compartimento de reação. Já no sistema de lodos ativados, esta recirculação dos sólidos é obtida por meio de bombeamento (lodos ativados de fluxo contínuo) ou de liga-desliga de aeradores (lodos ativados de fluxo intermitente, descritos no item 5.6. Desta forma, tanto no reator UASB quanto no sistema de lodos ativados, o tempo de permanência da biomassa é superior ao do líquido, garantindo a elevada capacidade do sistema, associada à sua elevada eficiência.

No tanque de aeração, devido à entrada contínua de alimento, na forma de DBO dos esgotos, os microrganismos crescem e se reproduzem continuamente. Caso fosse permitido que a população dos mesmos crescesse indefinidamente, eles tenderiam a atingir concentrações excessivas no tanque de aeração, dificultando a transferência de oxigênio para todas as células. Ademais, o decantador secundário ficaria sobrecarregado, e os sólidos não teriam mais condições de sedimentar satisfatoriamente, vindo a ser arrastados no efluente final, deteriorando a sua qualidade. Para manter o sistema em equilíbrio, é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução. Este é, portanto, o *lodo biológico excedente*, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação.

No sistema de lodos ativados convencional, o lodo excedente deve sofrer tratamento adicional, na linha de tratamento do lodo, usualmente compreendendo adensamento, digestão e desidratação. A digestão visa diminuir a quantidade de matéria orgânica, que torna o lodo putrescível. No sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio, pelo fato de grande parte da matéria orgânica já ter sido removida na etapa anaeróbia, o crescimento da biomassa é menor (menor disponibilidade de alimentos), ou seja, a produção de lodos é menor. O tratamento do lodo é também bastante simplificado, já que o lodo aeróbio do sistema de lodos ativados pode ser retornado ao reator UASB, para digestão e adensamento.

O sistema de lodos ativados pode ser adaptado para incluir remoções biológicas de nitrogênio e fósforo, atualmente praticadas de forma sistemática em diversos países. O presente capítulo enfoca em maior detalhe a remoção de matéria carbonácea, representada como DBO ou DQO.

No entanto, devido à sua importância nas condições de um país tropical como o Brasil, comentam-se também os aspectos de nitrificação (oxidação das formas reduzidas de nitrogênio, como amônia) e desnitrificação (redução das formas oxidadas de nitrogênio, como nitrato). A remoção biológica de fósforo é um tópico mais complexo, e que ainda necessita de mais investigações no caso do sistema de lodos ativados tratando efluente de reatores anaeróbios, motivo pelo qual não será analisada neste capítulo.

Com relação à remoção de coliformes e organismos patogênicos, devido aos reduzidos tempos de detenção nas unidades do sistema de lodos ativados, tem-se que a eficiência é baixa e usualmente insuficiente para atender aos requisitos de qualidade dos corpos receptores. Esta baixa eficiência é típica também de outros processos compactos de tratamento de esgotos. Caso necessário, o efluente deve ser submetido a uma etapa posterior de desinfecção. Sabe-se que, devido à boa qualidade do efluente, a demanda de cloro para desinfecção é pequena: uma concentração de poucos mg/L de cloro, ou seus derivados, é suficiente para eliminação quantitativa de patógenos em poucos minutos. A adição do desinfetante não tem efeito significativo sobre os custos de tratamento. No entanto, deve-se sempre ter em mente os problemas potenciais dos organoclorados resultantes da pós-cloração. Como em todo sistema de cloração de efluentes, deve-se analisar a possível necessidade de se efetuar a descloração, para redução da concentração de cloro residual, em função de sua toxicidade ao corpo receptor. A radiação UV também é atraente, em virtude do baixo teor de sólidos em suspensão no efluente do sistema de lodos ativados, e pela não geração de organoclorados e cloro residual.

5.2 VARIANTES DO PROCESSO

5.2.1 Preliminares

Existem diversas variantes do processo de lodos ativados. O presente capítulo enfoca apenas as principais e mais utilizadas. Dentro deste conceito, tem-se as seguintes divisões dos sistemas de lodos ativados:

- *Divisão quanto à idade do lodo*
 - Lodos ativados convencional
 - Aeração prolongada
- *Divisão quanto ao fluxo*
 - Fluxo contínuo
 - Fluxo intermitente (batelada)
- *Divisão quanto ao afluente à etapa biológica do sistema de lodos ativados*
 - Esgoto bruto
 - Efluente de decantador primário
 - Efluente de reator anaeróbio
 - Efluente de outro processo de tratamento de esgotos

Os sistemas de lodos ativados podem ser classificados, em função da idade do lodo, em uma das seguintes principais categorias (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Classificação dos sistemas em função da idade do lodo

| Idade do lodo | Faixa de idade do lodo (dias) | Faixa de relação A/M (kgDBO/kgSSVTA.dia) | Denominação usual |
|---------------|-------------------------------|--|------------------------------------|
| Reduzida | 4 a 10 | 0,25 a 0,50 | <i>Lodos ativados convencional</i> |
| Elevada | 18 a 30 | 0,07 a 0,15 | <i>Aeração prolongada</i> |

A classificação segundo a idade do lodo se aplica, tanto para os sistemas de *fluxo contínuo* (líquido entrando e saindo continuamente do reator de lodos ativados), quanto para os sistemas de *fluxo intermitente* ou *batelada* (entrada do líquido descontínua em cada reator de lodos ativados). No entanto, a aeração prolongada é mais freqüente para os sistemas de fluxo intermitente. Já com relação ao sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, a opção mais conveniente é a da idade do lodo convencional.

A etapa biológica do sistema de lodos ativados (reator biológico e decantador secundário) pode receber *esgotos brutos* (usualmente na modalidade de aeração prolongada), *efluentes de decantadores primários* (concepção clássica do sistema de lodos ativados convencional), *efluentes de reatores anaeróbios* (objeto do presente capítulo) e *efluentes de outros processos de tratamento de esgotos* (como tratamento físico-químico ou filtros biológicos, para polimento adicional do efluente).

5.2.2 Lodos ativados convencional (fluxo contínuo)

No sistema convencional, para se economizar energia para a aeração e reduzir o volume do reator biológico, parte da matéria orgânica (em suspensão, sedimentável) dos esgotos é retirada antes do tanque de aeração, através do decantador primário. Assim, os sistemas de lodos ativados convencional têm, como parte integrante, também o tratamento primário (Figura 5.3). Na figura, a parte de cima corresponde ao tratamento da fase líquida (esgoto), ao passo que a parte de baixo exemplifica as etapas envolvidas no tratamento da fase sólida (lodo). Nos fluxogramas a seguir, o lodo biológico excedente é denominado de lodo aeróbio, apenas para se distinguir do lodo anaeróbio, gerado em reator UASB (constante do fluxograma da Figura 5.6).

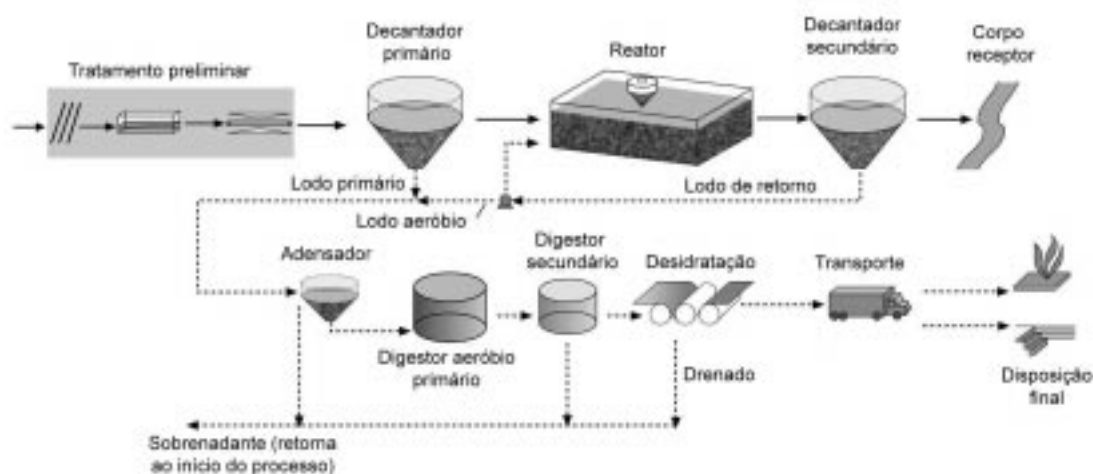


Figura 5.3 - Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional

No sistema convencional, a idade do lodo é usualmente da ordem de 4 a 10 dias, a relação A/M na faixa de 0,25 a 0,50 kgDBO/kgSSVTA.dia, e o tempo de detenção hidráulica no reator, da ordem de 6 a 8 horas. Com esta idade do lodo, a biomassa retirada do sistema no lodo excedente requer ainda uma etapa de estabilização no tratamento do lodo, por conter ainda um elevado teor

de matéria orgânica armazenada nas suas células. Esta estabilização ocorre nos digestores (primário e secundário). De forma a reduzir o volume dos digestores, o lodo é previamente submetido a uma etapa de adensamento, na qual é retirada parte da umidade, diminuindo, em consequência, o volume de lodo a ser tratado.

5.2.3 lodos ativados por Aeração prolongada (fluxo contínuo)

Caso a biomassa permaneça no sistema por um período mais longo, da ordem de 18 a 30 dias (daí o nome *aeração prolongada*), recebendo a mesma carga de DBO do esgoto bruto que o sistema convencional, haverá menor disponibilidade de alimento para as bactérias (relação A/M de apenas 0,07 a 0,15 kgDBO/kgSSVTA.dia). A quantidade de biomassa (kgSSVTA) é maior que no sistema de lodos ativados convencional, o volume do reator aeróbio é também maior, e o tempo de detenção do líquido é em torno de 16 a 24 horas. Portanto, há menos matéria orgânica por unidade de volume do tanque de aeração e também por unidade de biomassa do reator. Em decorrência, as bactérias, para sobreviver, passam a utilizar nos seus processos metabólicos a própria matéria orgânica biodegradável componente das suas células. Esta matéria orgânica celular é convertida em gás carbônico e água, por meio da respiração. Isto corresponde a uma estabilização da biomassa, ocorrendo no próprio tanque de aeração. Enquanto no sistema convencional a estabilização do lodo é feita em separado (na etapa de tratamento de lodo), usualmente em ambiente anaeróbio, na aeração prolongada ela é feita conjuntamente, no próprio reator, tendo-se, portanto, um ambiente aeróbio. O consumo adicional de oxigênio para a estabilização de lodo (respiração endógena) é significativo e inclusive pode ser maior que o consumo para metabolizar o material orgânico do afluente (respiração exógena).

Já que não há necessidade de se estabilizar o lodo biológico excedente, procura-se evitar também, no sistema de aeração prolongada, a geração de alguma outra forma de lodo, que venha a requerer posterior estabilização. Deste modo, os sistemas de aeração prolongada usualmente não possuem decantadores primários, para evitar a necessidade de se estabilizar o lodo primário. Com isto, obtém-se uma grande simplificação no fluxograma do processo: não há decantadores primários nem unidades de digestão de lodo (Figura 5.4).

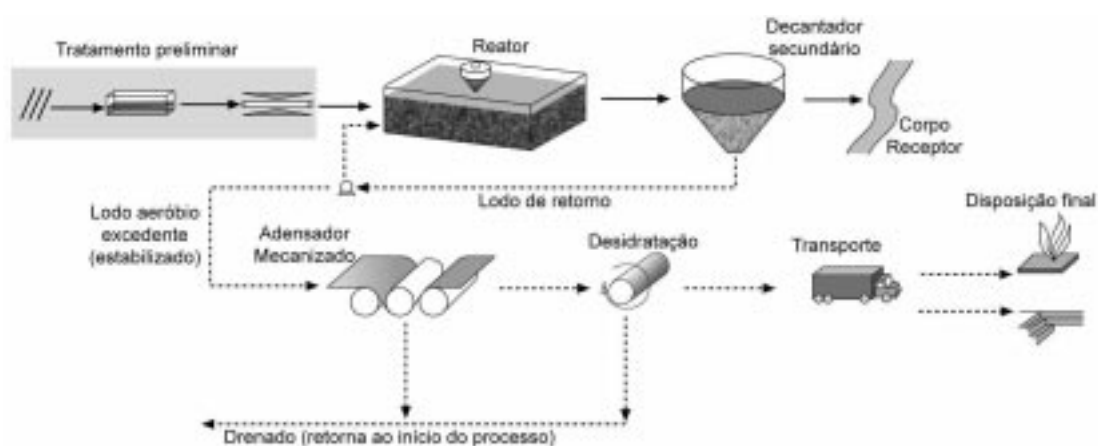


Figura 5.4 - Fluxograma de um sistema de aeração prolongada

A consequência desta simplificação do sistema é o gasto com energia para aeração, já que o lodo é estabilizado aerobiamente no tanque de aeração. Por outro lado, a reduzida disponibilidade de alimento e a sua praticamente total assimilação fazem com que a aeração prolongada seja a variante dos lodos ativados mais eficiente na remoção de DBO.

Deve-se destacar, no entanto, que a eficiência de qualquer variante do processo de lodos ativados está intimamente associada ao desempenho do decantador secundário. Caso haja perda de sólidos no efluente final, haverá uma grande deterioração na qualidade do efluente, independentemente do bom desempenho do tanque de aeração na remoção da DBO.

5.2.4 Lodos ativados de Fluxo intermitente (batelada)

Os sistemas de lodos ativados descritos nos itens 2.2 e 2.3 são de *fluxo contínuo* com relação ao afluente, ou seja, o esgoto está sempre entrando e saindo do reator. Há, no entanto, uma variante do sistema, com operação em *fluxo intermitente*.

O princípio do processo de lodos ativados com operação intermitente consiste na incorporação de todas as unidades, processos e operações normalmente associados ao tratamento tradicional de lodos ativados, quais sejam, decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, em um único tanque. Utilizando um tanque único, esses processos e operações passam a ser simplesmente seqüências no tempo, e não unidades separadas, como ocorre nos processos convencionais de fluxo contínuo. O processo de lodos ativados com fluxo intermitente pode ser utilizado tanto na modalidade convencional quanto na de aeração prolongada, embora esta seja mais comum, devido à sua maior simplicidade operacional. Na modalidade de aeração prolongada, o tanque único passa a incorporar também a unidade de digestão (aeróbia) do lodo (ver Figura 5.5).

No processo é utilizado apenas um reator, onde ocorrem todas as etapas do tratamento. Isso é conseguido por meio do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas. A massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos, eliminando, dessa forma, a necessidade de decantadores separados. Os ciclos normais de tratamento são:

- *Enchimento* (entrada de esgoto bruto, decantado ou anaeróbio no reator)
- *Reação* (aeração e/ou mistura da massa líquida contida no reator)
- *Sedimentação* (sedimentação e separação dos sólidos em suspensão do esgoto tratado)
- *Descarte do efluente tratado* (retirada do esgoto tratado do reator)
- *Repouso* (ajuste de ciclos e remoção do lodo excedente)

A duração usual de cada ciclo pode ser alterada em função das variações da carga afluente, dos objetivos operacionais do tratamento e das características do esgoto e da biomassa no sistema.

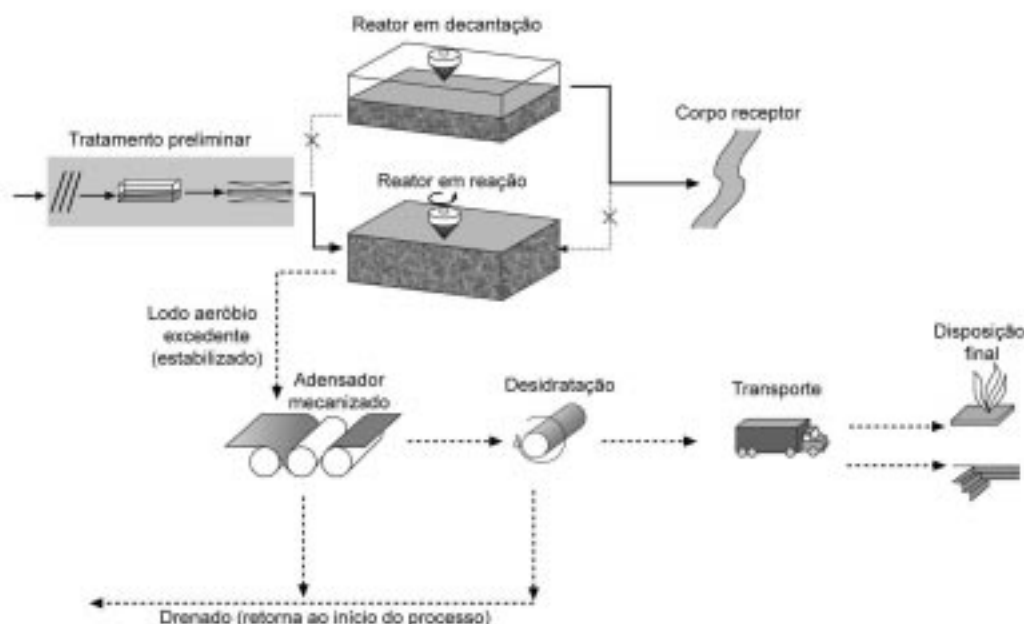


Figura 5.5 - Esquema de um sistema de lodos ativados com operação intermitente (dois reatores)

Quando comparado aos sistemas de lodos ativados de fluxo contínuo, o fluxograma do processo é bastante simplificado, devido à eliminação de diversas unidades. No sistema de aeração prolongada por batelada, as únicas unidades de todo o processo de tratamento (líquido e lodo) são: *grade*, *desarenador*, *reatores*, *adensador do lodo (opcional)* e *sistema de desidratação do lodo*.

Há algumas variantes nos sistemas de fluxo intermitente, relacionadas, tanto à forma de operação (alimentação contínua e esvaziamento descontínuo), quanto à seqüência e duração dos ciclos associados a cada fase do processo. Estas variantes permitem simplificações adicionais no processo ou a remoção biológica de nutrientes.

5.2.5 Lodos ativados para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios

Uma alternativa bastante promissora e foco de várias pesquisas recentes (SILVA et al, 1995; CHARLESTON et al, 1996; COLETTI et al, 1997; SOUZA e FORESTI, 1996, 1997; COURA e VAN HAANDEL, 1999; FREIRE et al, 1999; PASSIG et al, 1999; VON SPERLING et al, 2000; CYBIS E PICKBRENNER, 2000), e que está começando a ser implantada em escala real, é a de lodos ativados (com idade do lodo convencional – 6 a 10 dias), como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios tipo UASB. Neste caso, ao invés de se ter o decantador primário, tem-se o reator anaeróbio. O lodo aeróbio excedente gerado no lodos ativados, ainda não estabilizado, é enviado ao reator UASB, onde sofre adensamento e digestão, juntamente com o lodo anaeróbio. Como esta vazão de retorno do lodo aeróbio excedente é bem baixa, comparada com a vazão afluyente, não há distúrbios operacionais introduzidos no reator UASB. O tratamento do lodo é bastante simplificado: não há necessidade de adensadores e digestores, havendo apenas a etapa de desidratação. O lodo misto retirado do reator anaeróbio, digerido e com concentrações similares às de um lodo efluente de adensadores, possui ainda ótimas características para desidratação. A Figura 5.6 apresenta o fluxograma desta configuração no caso de fluxo contínuo.

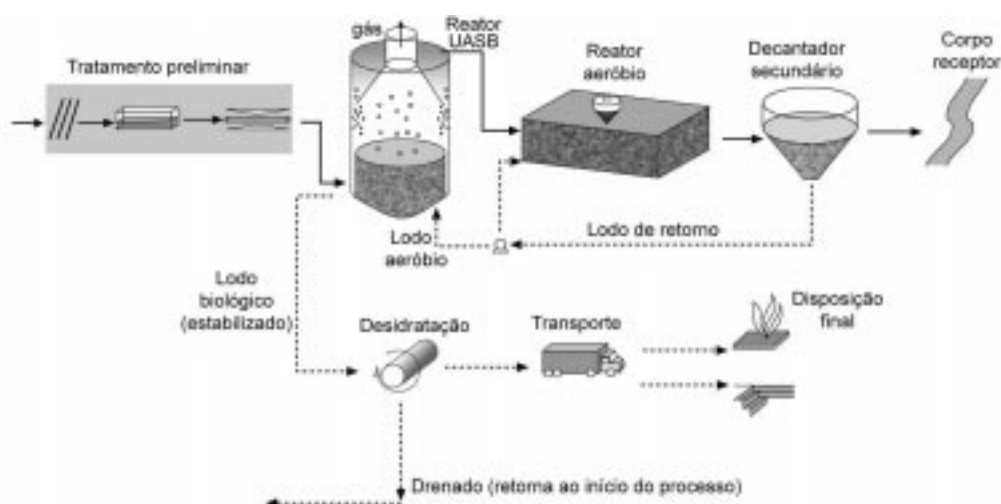


Figura 5.6 - Fluxograma de um sistema composto por reator UASB seguido por lodos ativados

As principais vantagens desta configuração, comparada com a concepção tradicional do sistema de lodos ativados convencional, estão apresentadas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Principais vantagens, desvantagens e similaridades do sistema UASB - lodos ativados, com relação à concepção tradicional do sistema de lodos ativados convencional

| Aspecto | Item | Comentário |
|----------|---|---|
| Vantagem | <i>Redução da produção de lodo</i> | <ul style="list-style-type: none"> A massa de lodo produzido e a ser tratado é da ordem de 40 a 50% do total produzido na concepção tradicional do sistema de lodos ativados convencional, e 50 a 60% do total produzido na aeração prolongada A massa a ser encaminhada para disposição final é da ordem de 60 a 70% das concepções tradicionais A redução no volume de lodo é ainda maior, pelo fato do lodo anaeróbio misto ser mais concentrado e possuir ótima condição para desidratação |
| | <i>Redução no consumo de energia</i> | <ul style="list-style-type: none"> Como aproximadamente 70% da DBO é previamente removida no UASB, o consumo de oxigênio é apenas para a DBO remanescente e para a nitrificação, que, neste caso, é o fator preponderante do consumo (em torno de 2/3 do consumo total) |
| | <i>Redução no volume total das unidades</i> | <ul style="list-style-type: none"> O volume total das unidades (reator UASB, reator de lodos ativados, decantador secundário e sistema de desidratação do lodo) é inferior ao volume total das unidades do lodos ativados convencional (decantador primário, reator de lodos ativados, decantador secundário, adensador de lodo, digestor de lodo e desidratação do lodo) |
| | <i>Redução no consumo de produtos químicos para desidratação</i> | <ul style="list-style-type: none"> A redução ocorre em função da menor produção de lodo e das melhores características para desidratação |
| | <i>Menor número de unidades a serem implementadas</i> | <ul style="list-style-type: none"> Não há necessidade de decantadores primários, adensadores e digestores, os quais são substituídos pelo reator UASB |
| | <i>Menor necessidade de equipamentos</i> | <ul style="list-style-type: none"> O reator UASB não possui equipamentos eletromecânicos, diferentemente dos decantadores primários, adensadores e digestores do sistema de lodos ativados convencional |
| | <i>Maior simplicidade operacional</i> | <ul style="list-style-type: none"> Comparado com a concepção tradicional do sistema de lodos ativados convencional, há menor número de unidades e equipamentos eletromecânicos, resultando em operação mais simples |
| | <i>Menor capacitação para remoção biológica de nutrientes (N e P)</i> | <ul style="list-style-type: none"> A remoção de nitrogênio só é factível a partir de uma proporção mínima entre a concentração de material nitrogenado (NTK) e do material orgânico (DQO) Similarmente, também há uma razão mínima P/DQO para a remoção |

| | | |
|--------------|--|--|
| Desvantagem | | de fósforo <ul style="list-style-type: none"> • Uma vez que o reator UASB retira grande parte do carbono orgânico e quase não afeta a concentração dos nutrientes, em geral a concentração de material orgânico no efluente anaeróbio é menor que a mínima necessária à desnitrificação e à desfosfatação |
| Similaridade | <i>Eficiência similar à concepção tradicional de lodos ativados convencional</i> | <ul style="list-style-type: none"> • A eficiência do sistema na remoção dos principais poluentes (com exceção de N e P) é similar à do sistema de lodos ativados convencional |

Os comentários anteriores também se aplicam para a versão intermitente do sistema de lodos ativados.

A experiência operacional com os novos sistemas considerando a integração de reatores UASB e processos de lodos ativados, seja na configuração contínua, seja na intermitente, permitirá um constante avanço no conhecimento dos critérios e parâmetros de projeto a serem empregados. No momento, têm sido adotados, para a etapa de lodos ativados, os mesmos parâmetros usualmente utilizados para o sistema de lodos ativados convencional, dentro da compreensão de que os principais fenômenos físicos e bioquímicos envolvidos são os mesmos. É possível, no entanto, que alguns coeficientes do modelo matemático do processo sejam diferentes, o que não deve afetar substancialmente o projeto.

5.2.6 Comparação entre as variantes do processo de lodos ativados

No presente item comparam-se as variantes do processo de lodos ativados. Os fatores principais de separação entre as variantes são a idade do lodo, caracterizando as idades do lodo convencional e de aeração prolongada, e a existência ou não de pré-tratamento (ex: reator UASB).

As seguintes tabelas são apresentadas, de forma a permitir uma comparação entre os sistemas:

- Tabela 5.3 - *Principais características (eficiências, requisitos e custos) dos sistemas*
- Tabela 5.4 - *Comparação entre diversas características operacionais dos sistemas de lodos ativados convencional, aeração prolongada e reator UASB – lodos ativados*

Tabela 5.3 - Principais características dos sistemas de lodos ativados utilizados para o tratamento de esgotos domésticos

| Item geral | Item específico | Modalidade | | |
|-----------------------|----------------------------------|--------------|--------------------|-----------------------|
| | | Convencional | Aeração prolongada | UASB – lodos ativados |
| Idade do lodo | Idade do lodo (d) | 4 a 10 | 18 a 30 | 6 a 10 |
| Relação A/M | Relação A/M (kgDBO/dia.kgSSVTA) | 0,25 a 0,50 | 0,07 a 0,15 | 0,25 a 0,40 |
| Eficiência de remoção | DBO (%) | 85 a 95 | 93 a 98 | 85 a 95 |
| | DQO (%) | 85 a 90 | 90 a 95 | 83 a 90 |
| | Sólidos em suspensão (%) | 85 a 95 | 85 a 95 | 85 a 95 |
| | Amônia (%) | 85 a 95 | 90 a 95 | 75 a 90 |
| | Nitrogênio (%) (1) | 25 a 30 | 15 a 25 | 15 a 25 |
| | Fósforo (%) (1) | 25 a 30 | 10 a 20 | 10 a 20 |
| | Coliformes (%) | 60 a 90 | 70 a 95 | 70 a 95 |
| Área requerida | Área (m ² /hab) (2) | 0,2 a 0,3 | 0,25 a 0,35 | 0,2 a 0,3 |
| Volume total | Volume (m ³ /hab) (3) | 0,10 a 0,15 | 0,10 a 0,15 | 0,10 a 0,12 |
| Energia (4) | Potência instalada (W/hab) | 2,5 a 4,5 | 3,5 a 5,5 | 1,8 a 3,5 |
| | Consumo energético (kWh/hab.ano) | 18 a 26 | 20 a 35 | 14 a 20 |
| Volume de lodo (5) | A ser tratado - (L lodo/hab.dia) | 3,5 a 8,0 | 3,5 a 5,5 | 0,5 a 1,0 |
| | A ser disposto (L lodo/hab.dia) | 0,10 a 0,25 | 0,10 a 0,25 | 0,05 a 0,15 |
| Massa de lodo | A ser tratado - (g ST/hab.dia) | 60 a 80 | 40 a 45 | 20 a 30 |
| | A ser disposto - (g ST/hab.dia) | 30 a 45 | 40 a 45 | 20 a 30 |
| Custos | Implantação (R\$/hab) | 80 a 150 | 70 a 120 | 60 a 100 |
| | Operação (R\$/hab.ano) | 10 a 18 | 10 a 18 | 7 a 12 |

Fonte: adaptado parcialmente de VON SPERLING (1997), ALEM SOBRINHO e KATO (1999)

Notas:

1,00 US\$ = R\$ 2,30 (1º semestre/2001)

Os valores apresentados são típicos, mas podem variar, inclusive fora das faixas apresentadas, dependendo de circunstâncias locais.

(1): Pode-se alcançar eficiências maiores na remoção de N (especialmente no sistema de lodos ativados convencional e na aeração prolongada) e de P (especialmente no sistema de lodos ativados convencional), por meio de etapas específicas (desnitrificação e desfosfatação). A modalidade UASB – lodos ativados não é eficiente na remoção biológica de N e P.

(2): Áreas inferiores podem ser obtidas utilizando-se desidratação mecânica. Os valores de área representam a área de toda a ETE, e não apenas das unidades

(3): O volume total das unidades inclui eventuais reatores UASB, decantadores primários, tanques de aeração, decantadores secundários, adensadores por gravidade e digestores primários e secundários. A desidratação assumida no cálculo dos volumes é mecânica. A necessidade de cada uma das unidades depende da variante do processo de lodos ativados.

(4): A potência instalada deve ser suficiente para suprir a demanda de O₂ em cargas de pico. O consumo energético pressupõe certo controle do fornecimento do O₂, reduzindo-o em momentos de menor demanda.

(5): O volume de lodo é função da concentração de sólidos totais (ST), a qual depende dos processos utilizados no tratamento da fase líquida e da fase sólida. A faixa superior do volume per capita de lodo a ser disposto está associada à desidratação por meio de centrífuga e filtro de correia (menores concentrações de ST no lodo desidratado), ao passo que a faixa inferior está associada à desidratação por meio de leitos de secagem ou de filtros-prensa (maiores concentrações de ST).

Tabela 5.4 - Comparação entre as variantes dos sistemas de lodos ativados

| Item | Lodos ativados convencional | Aeração prolongada | UASB – lodos ativados |
|---|--|---|--|
| <i>Idade do lodo</i> | ⇓ 4 a 10 dias | ⇑ 18 a 30 dias | ⇓ 6 a 10 dias |
| 5.2.7 Relação A/M | ⇑ • 0,25 a 0,50 kgDBO/dia.kgSSVTA | ⇓ • 0,07 a 0,15 kgDBO/dia.kgSSVTA | ⇑ • 0,25 a 0,4 kgDBO/dia.kgSSVTA |
| <i>Decantação primária</i> | • Presente | • Ausente | • Ausente |
| <i>Reator UASB</i> | • Ausente | • Ausente | • Presente |
| <i>DBO solúvel efluente</i> | ⇓ • Baixa • Praticamente desprezível | ⇓ • Bastante baixa • Praticamente desprezível | ⇓ • Baixa • Praticamente desprezível |
| <i>DBO em suspensão efluente</i> | ⇑ • Depende da sedimentabilidade do lodo e do desempenho do decantador secundário • Como a nitrificação deverá ocorrer, caso não haja desnitrificação no reator, a mesma pode ocorrer no decantador secundário, causando ascensão e perda do lodo • Decantador secundário sujeito a problemas com bactérias filamentosas e outras deterioradoras da sedimentabilidade | ⇑ • Depende da sedimentabilidade do lodo e do desempenho do decantador secundário • A maior carga de sólidos afluente ao decantador secundário exige a adoção de parâmetros mais conservadores no dimensionamento destas unidades • Caso não haja desnitrificação no reator, a mesma pode ocorrer no decantador secundário, causando ascensão e perda do lodo • Decantador secundário sujeito a problemas com bactérias filamentosas e outras deterioradoras da sedimentabilidade | ⇑ • Depende da sedimentabilidade do lodo e do desempenho do decantador secundário • Como a nitrificação deverá ocorrer, caso não haja desnitrificação no reator, a mesma pode ocorrer no decantador secundário, causando ascensão e perda do lodo • Decantador secundário sujeito a problemas com bactérias filamentosas e outras deterioradoras da sedimentabilidade |
| <i>Nitrificação</i> | ⇑ • Bastante provável, mas sujeita à instabilidade na faixa inferior da idade do lodo, especialmente em temperaturas mais baixas • Totalmente consistente na faixa superior, a menos que ocorram problemas ambientais específicos (ex: presença de elementos tóxicos, falta de OD) | ⇑ • Totalmente consistente, a menos que haja problemas ambientais específicos (ex: presença de elementos tóxicos, falta de OD) | ⇑ • Consistente, a menos que ocorram problemas ambientais (ex: presença de elementos tóxicos, falta de OD) • A toxicidade às bactérias nitrificantes pelo sulfeto efluente do reator UASB é um tópico que merece investigação |
| <i>Volume do reator aeróbio (tanque de aeração)</i> | ⇓ • Reduzido (tempos de detenção hidráulica da ordem de 6 a 8 h) | ⇑ • Elevado (tempos de detenção hidráulica da ordem de 16 a 24 h) | ⇓ • Bastante reduzido, em virtude da prévia remoção de grande parte da matéria orgânica (tempos de detenção hidráulica da ordem de 3 a 5 h) |
| <i>Área dos decantadores secundários</i> | ⇓ • Reduzida | ⇑ • Elevada, devido à maior carga de sólidos e às características de sedimentabilidade do lodo | ⇓ • Mais reduzida, em função da menor carga de sólidos afluente |

| | | | |
|---|---|---|---|
| <i>Requisito de oxigênio</i> | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Reduzido, devido à menor respiração pela biomassa e à remoção de DBO na decantação primária | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Elevado, por incluir o consumo de oxigênio pela respiração da grande quantidade de biomassa presente e pela inexistência de decantação primária | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Mais reduzido, devido à menor respiração pela biomassa e à grande remoção de DBO no reator UASB |
| <i>Requisito energético</i> | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Reduzido, devido ao baixo consumo de oxigênio | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Elevado, devido ao elevado consumo de oxigênio | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Mais reduzido, devido ao menor consumo de oxigênio |
| <i>Produção de lodo</i> | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Elevada, porém diminui com o uso da digestão anaeróbia, tornando-se razoável | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Razoável | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Baixa, devido ao reator anaeróbio produzir um lodo denso e em baixa quantidade, e ao lodo aeróbio sofrer digestão e adensamento no reator anaeróbio |
| <i>Estabilização do lodo no reator</i> | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Baixa e insuficiente para encaminhamento à desidratação natural (geração de maus odores) | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Suficiente e comparável a processos de digestão separada, como a digestão anaeróbia de lodos | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Suficiente e comparável a processos de digestão separada, como a digestão anaeróbia de lodos |
| <i>Adensamento do lodo</i> | <ul style="list-style-type: none"> Necessário (principalmente para o lodo secundário) | <ul style="list-style-type: none"> Pode ser utilizado, mas o adensamento por gravidade não é efetivo. Recomendável adensamento mecânico | <ul style="list-style-type: none"> Normalmente desnecessário |
| <i>Digestão separada do lodo primário</i> | <ul style="list-style-type: none"> Necessária | <ul style="list-style-type: none"> Inexiste lodo primário | <ul style="list-style-type: none"> Inexiste lodo primário |
| <i>Digestão separada do lodo aeróbio</i> | <ul style="list-style-type: none"> Necessária | <ul style="list-style-type: none"> Desnecessária | <ul style="list-style-type: none"> O lodo aeróbio é retornado ao reator UASB, onde sofre digestão |
| <i>Desidratabilidade do lodo</i> | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Boa condição para desidratação | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Pior desidratabilidade | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Melhor desidratabilidade |
| <i>Estabilidade do processo</i> | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Maior susceptibilidade a descargas tóxicas que na aeração prolongada | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Elevada | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Satisfatória, por se compor de duas etapas em série, uma anaeróbia e outra aeróbia |
| <i>Simplicidade operacional</i> | ↓ <ul style="list-style-type: none"> Reduzida | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Maior, por não incluir as unidades de decantação primária e digestão, e por ser um sistema mais robusto e estável | ↑ <ul style="list-style-type: none"> Intermediária (maior complexidade no tratamento da fase líquida, mas maior simplicidade no tratamento da fase sólida) |

Fonte: adaptado parcialmente (lodos ativados convencional e aeração prolongada) de VON SPERLING (1997)

Nota: ↓ = baixa ou reduzida

↑ = variável ou intermediária

↑ = alta ou elevada

5.3 CRITÉRIOS E PARÂMETROS DE PROJETO

O presente item apresenta os principais critérios e parâmetros de projeto utilizados no dimensionamento do sistema de lodos ativados atuando como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Deve-se esclarecer que, possivelmente mais do que qualquer outro processo de tratamento de esgotos, o processo de lodos ativados (em sua concepção clássica) tem sido objeto de extensivas pesquisas, que resultaram em modelos matemáticos bem avançados e complexos (ver, por exemplo, VAN HAANDEL e MARAIS, 1999 e VON SPERLING, 1997). No presente capítulo adota-se, forçosamente, uma abordagem mais simplificada, de forma a facilitar a compreensão dos principais itens do dimensionamento. Sem esta simplificação, o capítulo necessitaria ser amplamente expandido, de forma a permitir a explicação de diversos fatores da cinética do processo. Os resultados do dimensionamento, segundo os critérios apresentados no presente capítulo, não devem se afastar substancialmente daqueles obtidos com sequências de dimensionamento mais sofisticadas.

Os principais parâmetros de projeto, que determinam o comportamento do sistema, bem como as áreas e volumes requeridos, são:

- reator: idade do lodo e concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração (SSTA);
- decantador secundário: taxas de aplicação hidráulica e de sólidos.

Os parâmetros de projeto do sistema de lodos ativados como pós-tratamento de reatores UASB são similares aos do sistema de lodos ativados convencional. A principal diferença reside na menor concentração de SSTA assumida na variante de lodos ativados como pós-tratamento. Caso se adotassem maiores valores, o volume do tanque de aeração seria bastante reduzido (tempo de detenção inferior a 2,0 horas, sendo que não há ainda experiência operacional em escala real que demonstre a estabilidade destes tanques tão reduzidos).

A Tabela 5.5 lista os principais parâmetros de projeto utilizados para o dimensionamento do sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.

Tabela 5.5 - Parâmetros de projeto do sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (esgotos domésticos)

| Item | Parâmetro | Valor |
|------------------------------|--|-------------|
| <i>Tanque de aeração</i> | Idade do lodo (d) | 6 a 10 |
| | Relação A/M (kg DBO/kgSSVTA.d) | 0,25 a 0,40 |
| | Tempo de detenção hidráulica (h) | 3 a 5 |
| | Concentração de SSVTA (mg/L) | 1100 a 1500 |
| | Concentração de SSTA (mg/L) | 1500 a 2000 |
| | Relação SSV/SS no reator (-) | 0,75 a 0,77 |
| <i>Sistema de aeração</i> | Requisitos médios de O ₂ – demanda carbonácea (kgO ₂ /kgDQO aplicada ao LA) | 0,35 a 0,50 |
| | Requisitos médios de O ₂ – demanda carbonácea (kgO ₂ /kgDBO aplicada ao LA) | 0,80 a 1,10 |
| | Requisitos médios de O ₂ – demanda para nitrificação (kgO ₂ /kgNTK aplicado ao LA) | 3,8 a 4,3 |
| | Requisitos médios de O ₂ – demanda para nitrificação (kgO ₂ /kgN disponível) * | 4,6 |
| | Relação consumo máximo O ₂ / consumo médio O ₂ | 1,2 a 1,5 |
| | Eficiência de oxigenação padrão (kgO ₂ /kWh) | 1,5 a 2,2 |
| <i>Produção de lodo</i> | Fator de correção: consumo O ₂ padrão / consumo O ₂ campo | 1,5 a 1,8 |
| | Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB) (kgSS/kgDQO aplicada ao LA) | 0,30 a 0,40 |
| | Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB) (kgSS/kgDBO aplicada ao LA) | 0,55 a 0,70 |
| | Produção per capita de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB) (gSS/hab.d) | 8 a 14 |
| | Concentração de SS no lodo retornado ao UASB (mg/L) | 3000 a 5000 |
| | Eficiência de remoção de SSV do lodo aeróbio no reator UASB | 0,20 a 0,30 |
| | Produção de lodo anaeróbio (kgSS/kgDQO aplicada ao UASB) | 0,14 a 0,18 |
| | Produção de lodo anaeróbio (kgSS/kgDBO aplicada ao UASB) | 0,28 a 0,36 |
| | Produção per capita de lodo anaeróbio (gSS/hab.d) | 14 a 18 |
| | Produção de lodo misto total (a ser tratado) (kgSS/kgDQO aplicada ao sistema) | 0,20 a 0,30 |
| | Produção de lodo misto total (a ser tratado) (kgSS/kgDBO aplicada ao sistema) | 0,40 a 0,60 |
| | Produção per capita de lodo misto total (a ser tratado) (gSS/hab.d) | 20 a 30 |
| | Produção volumétrica per capita de lodo misto total (a ser tratado) (L/hab.d) | 0,5 a 1,0 |
| | Concentração do lodo misto (aeróbio + anaeróbio) retirado do UASB (%) | 3,0 a 4,0 |
| <i>Decantador secundário</i> | Taxa de escoamento superficial (Q/A) (m ³ /m ² .d) | 24 a 36 |
| | Taxa de aplicação de sólidos [(Q+Q _r).X/A] (kgSS/m ² .d) | 100 a 140 |
| | Altura da parede lateral (m) | 3,0 a 4,0 |
| | Razão de recirculação (Q _r /Q) | 0,6 a 1,0 |
| | Concentração de SS no lodo recirculado ao tanque de aeração (mg/L) | 3000 a 4000 |
| <i>Tratamento do lodo</i> | Produção per capita de SS no lodo a ser disposto (gSS/hab.d) | 20 a 30 |
| | Produção per capita de SS no lodo a ser disposto (gSS/hab.d) | 20 a 30 |
| | Produção volumétrica per capita de lodo a ser disposto (L lodo/hab.d) | 0,05 a 0,15 |
| | Teor de sólidos (centrífuga, filtro prensa de correias) (%) | 20 a 30 |
| | Teor de sólidos (filtro prensa) (%) | 25 a 40 |
| | Teor de sólidos (leito de secagem) (%) | 30 a 45 |

* N disponível para nitrificação = N-NTK afluente – N incorporado ao lodo de excesso (10% do SSV de excesso é N)

Não se apresentam no presente capítulo, por questões de simplicidade e espaço, a dedução e o significado das diversas fórmulas utilizadas no dimensionamento, as quais são mais facilmente compreendidas por meio do Exemplo de Dimensionamento. Para maiores detalhes acerca do detalhamento das fórmulas, deverão ser consultados, por exemplo JORDÃO e PESSOA (1995), VON SPERLING (1997) e VAN HAANDEL e MARAIS (1999).

5.4 SISTEMAS DE AERAÇÃO

Com relação à aeração do reator aeróbio, há duas formas principais (ver Figura 5.7):

- *introduzir ar ou oxigênio no líquido (aeração por ar difuso)*
- *causar um grande turbilhonamento, expondo o líquido, na forma de gotículas, ao ar, e ocasionando a entrada do ar atmosférico no meio líquido (aeração superficial ou mecânica)*

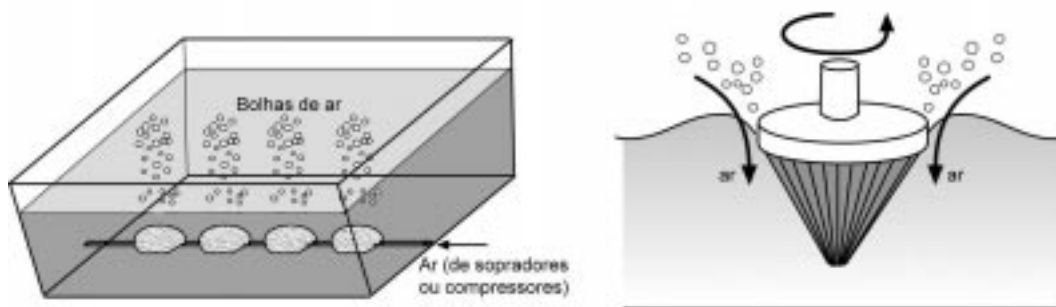


Figura 5.7 - Principais sistemas de aeração utilizados no processo de lodos ativados

Os aeradores mecânicos podem ser de *alta rotação* (usualmente flutuantes; apresentam maior consumo energético e menor custo de implantação) ou de *baixa rotação* (com redutores; são usualmente fixos; apresentam menor consumo energético e maior custo de implantação). As potências comerciais usualmente disponíveis são: 1; 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100; 125; 150 CV.

A aeração por ar difuso pode ser por *bolhas grossas* (apresenta maior consumo energético e maior simplicidade), *bolhas médias* ou *bolhas finas* (apresenta menor consumo energético e operação mais cuidadosa para evitar entupimentos). O ar vem de compressores ou sopradores.

A profundidade útil do reator aerado é função do sistema de aeração: 3,0 a 4,5 m (aeração mecânica) e 4,5 a 6,0 m (ar difuso). Desta forma, para mesmos volumes do tanque de aeração, a área ocupada por tanques com aeração por ar difuso pode ser menor. Caso seja adotada profundidade maior que 3,0 m, com aeração mecânica, os equipamentos deverão ter recursos especiais para garantir mistura e oxigenação ao longo de toda a profundidade.

Para pequenas ETEs, é mais usual a solução com aeração mecânica, e nas ETEs médias e grandes, o sistema de ar difuso é mais utilizado, evitando a utilização de um grande número de aeradores (apenas poucos sopradores são necessários).

É necessário bastante cuidado na especificação de sistemas de aeração, devendo-se exigir do fornecedor comprovação de eficiência em testes de campo.

As Tabelas 5.6 e 5.7 apresentam uma comparação entre as principais variantes de aeração mecânica e ar difuso.

Tabela 5.6 - Características dos principais sistemas de aeração mecânica

| Tipo de aerador | Características | Vantagens | Desvantagens | Eficiência de oxigenação padrão (kgO ₂ /kWh) |
|------------------------------------|---|--|--|---|
| <i>Baixa rotação, fluxo radial</i> | Similar a uma bomba de elevada vazão e baixa carga. O fluxo do líquido no tanque é radial, em relação ao eixo do motor. A maior parte da absorção de oxigênio ocorre devido ao ressalto hidráulico criado. Velocidade de rotação: 20 a 60 rpm. | Elevada transferência de oxigênio. Boa capacidade de mistura. Flexibilidade no projeto do tanque. Elevada capacidade de bombeamento. Fácil acesso para manutenção. | Custos iniciais elevados. Necessidade de manutenção cuidadosa nos redutores. | 1,5 a 2,2 |
| <i>Alta rotação, fluxo axial</i> | Similar a uma bomba de elevada vazão e baixa carga. O fluxo do líquido bombeado é ascensional segundo o eixo do motor, passando pela voluta, e atingindo um difusor, de onde é disperso perpendicularmente ao eixo do motor, na forma de aspersão. A maior parte da absorção de oxigênio ocorre devido à aspersão e à turbulência. Velocidade de rotação: 900 a 1400 rpm. | Custos iniciais mais reduzidos. Facilmente ajustável a variações do nível d'água. Operação flexível. | Difícil acesso para manutenção. Menor capacidade de mistura. Transferência de oxigênio não muito elevada. | 1,2 a 2,0 |
| <i>Rotor de eixo horizontal</i> | A rotação é em torno de um eixo horizontal. Ao rodar, o rotor, com um grande número de aletas perpendiculares ao eixo, causa a aeração por aspersão e incorporação do ar, além de proporcionar o movimento circulatório do líquido no reator. Velocidade de rotação: 20 a 60 rpm. | Custo inicial moderado. Fácil de fabricar localmente. Fácil acesso para manutenção. | Geometria do tanque limitada. Requisito de baixas profundidades. Possíveis problemas em rotores com eixos longos. Transferência de oxigênio não muito elevada. | 1,2 a 2,0 |

Fonte: VON SPERLING (1997)

Tabela 5.7 - Características dos principais sistemas de aeração por ar difuso

| Tipo de aeração | Características | Vantagens | Desvantagens | Eficiência de transferência de O ₂ padrão média (%) | Eficiência de oxigenação padrão (kgO ₂ /kWh) |
|--------------------------------|---|---|---|--|---|
| <i>Bolhas finas</i> | As bolhas são geradas através de membranas, pratos, discos, tubos ou domos, feitos de um meio cerâmico, vítreo ou de resinas. | Elevada transferência de oxigênio. Boa capacidade de mistura. Elevada flexibilidade operacional, por meio da variação da vazão de ar. | Custos de implantação e manutenção elevados. Possibilidades de colmatção dos difusores. Necessidade de filtros de ar. | 10 a 30 | 1,2 a 2,0 |
| <i>Bolhas médias</i> | As bolhas são geradas através de membranas perfuradas ou tubos (aço inoxidável coberto ou de plástico) perfurados. | Boa capacidade de mistura. Reduzidos custos de manutenção. | Custos de implantação elevados. Filtros de ar podem ser necessários. | 6 a 15 | 1,0 a 1,6 |
| <i>Bolhas grossas</i> | As bolhas são geradas através de orifícios, bocais ou injetores. | Não colmatção. Baixos custos de manutenção. Custos de implantação competitivos. Filtros de ar não são necessários. | Baixa transferência de oxigênio. Elevados requisitos de energia. | 4 a 8 | 0,6 a 1,2 |
| <i>Aeradores por aspiração</i> | As bolhas são geradas por meio de uma hélice, rodando em alta velocidade na extremidade de um tubo vazado, a qual succiona o ar atmosférico de um orifício situado na extremidade superior do tubo. | Não colmatção. Filtros de ar não são necessários. Simplicidade conceitual. Manutenção relativamente simples. | Eficiência de oxigenação inferior aos sistemas de aeração mecânica ou bolhas finas. | - | 1,2 a 1,5 |

Fonte: VON SPERLING (1997)

5.5 DECANTADORES SECUNDÁRIOS

Os formatos mais comuns para os decantadores secundários são o *retangular de fluxo horizontal* e o *circular de alimentação central*. Ambos os tanques necessitam de remoção contínua do lodo, por meio de raspadores ou sucção de fundo. Uma visão esquemática de ambos pode ser vista nas Figuras 5.8 e 5.9. O tipo circular permite uma remoção contínua do lodo mais fácil, e apresenta maior vantagem do ponto de vista estrutural, devido ao efeito anelar. Por outro lado, o tanque retangular permite uma maior economia de área (pela ausência de áreas mortas entre tanques) e a possibilidade de se utilizar paredes comuns entre tanques contíguos. Ambos os tanques são bastante utilizados em estações de médio e grande portes.

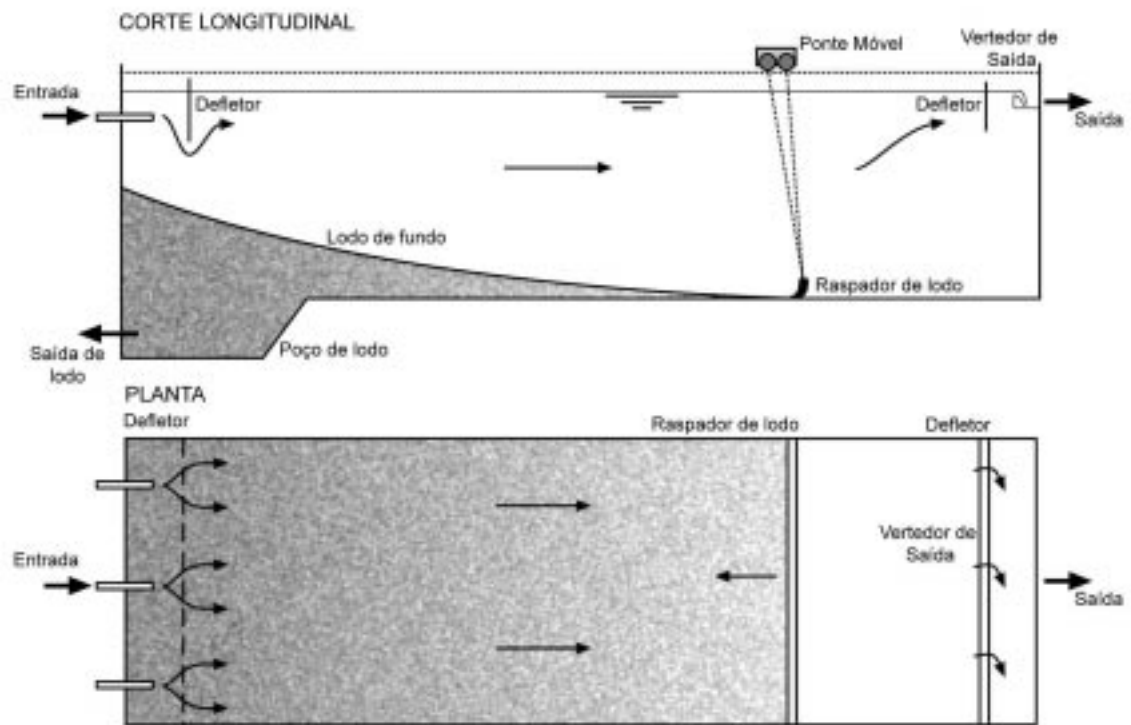


Figura 5.8 - Esquema de um decantador secundário retangular (corte e planta)

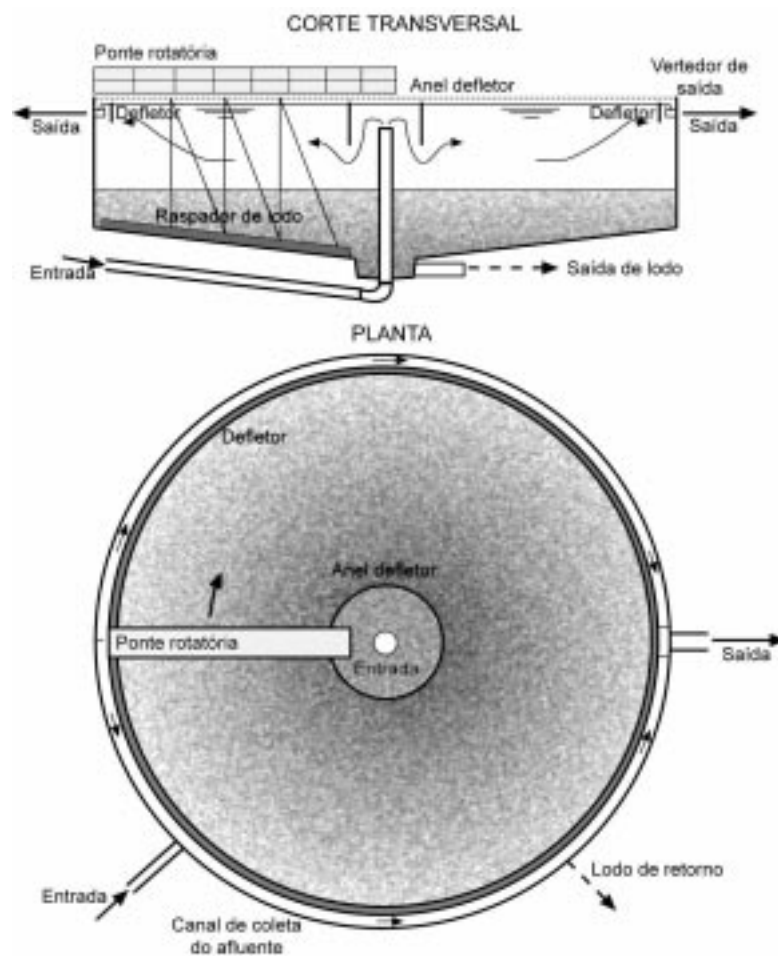


Figura 5.9 - Esquema de um decantador secundário circular (corte e planta)

Em estações de pequeno porte, pode-se prescindir de um mecanismo para remoção do lodo, através da adoção de uma grande declividade do fundo (em torno de 60° com a horizontal), que assume a forma de um tronco de pirâmide invertido. Desta forma, o lodo se dirige ao(s) poço(s) de lodo, de onde é removido por pressão hidrostática. Tais tanques são denominados tanques *tipo Dortmund*. A utilização de tais tanques está restrita a estações menores, pelo fato das elevadas declividades de fundo requererem profundidades bastante elevadas, no caso de maiores áreas superficiais. A NBR-570 (ABNT, 1989) recomenda que, para a remoção hidrostática de lodo, a carga hidrostática mínima deve ser considerada como o dobro daquela calculada para a água, e não inferior a 0,50 m, com uma tubulação de diâmetro mínimo de 150 mm. A Figura 5.10 exemplifica um possível tanque, retangular na planta superior, mas dividido em três câmaras.

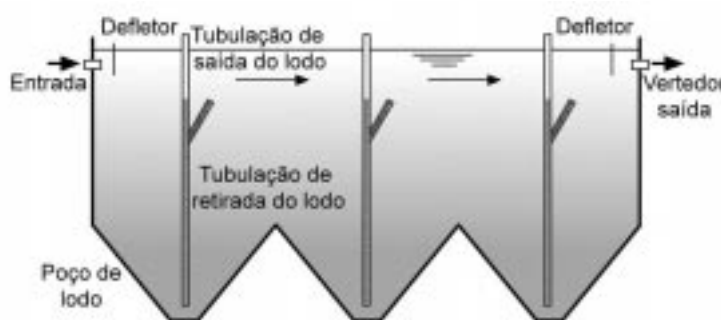


Figura 5.10 - Tanque com elevada declividade de fundo e sem mecanismo de remoção de lodo

Há a possibilidade ainda de se adotar decantadores de placa (fluxo laminar), similares aos utilizados em estações de tratamento de água. A ETE Piracicamirim, primeira no Brasil em escala plena a adotar o sistema UASB – lodos ativados, possui um decantador com esta configuração.

O cálculo da área superficial requerida é o principal aspecto no projeto de um decantador. A determinação da área usualmente é obtida através da consideração dos seguintes parâmetros de projeto:

- **Taxa de escoamento superficial (q_A):** (Q/A) . Corresponde ao quociente entre a vazão afluyente à estação (Q) e a área superficial dos decantadores (A).
- **Taxa de aplicação de sólidos (TAS):** $(Q+Q_r).X/A$. Corresponde ao quociente entre a carga de sólidos aplicada $(Q+Q_r).X$ e a área superficial dos decantadores (A).

As taxas de aplicação nos decantadores secundários de sistemas de lodos ativados, atuando como pós-tratamento de efluentes anaeróbios, são presumivelmente distintas daquelas adotadas para a concepção convencional do sistema de lodos ativados, pelo fato de se trabalhar com concentrações mais baixas de sólidos (SSTA) e com um lodo de características um pouco diferentes. Este é um item que merece investigações continuadas, com experiência em ETEs em escala real, para se obter os parâmetros de projeto específicos para esta configuração. As taxas de aplicação utilizadas em projetos atuais são (ver Tabela 5.5):

- Taxa de escoamento superficial para vazão média: $q_A = 24 \text{ a } 36 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$
- Taxa de aplicação de sólidos para vazão média: $\text{TAS} = 100 \text{ a } 140 \text{ kgSS}/\text{m}^2.\text{d}$

Conhecidas as vazões, e adotando-se valores para q_A e TAS, calcula-se a área requerida para os decantadores. O exemplo de dimensionamento ilustra a aplicação destes conceitos.

5.6 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O presente item apresenta detalhes de projeto e aspectos construtivos relacionados ao tanque de aeração e ao decantador secundário (METCALF & EDDY, 1991; WEF/ASCE, 1992; VON SPERLING, 1997).

Tanque de aeração:

- O comprimento e a largura do reator devem permitir uma distribuição homogênea dos aeradores na superfície do tanque.
- Os tanques devem ser preferencialmente retangulares.
- A profundidade útil do reator encontra-se dentro da seguinte faixa: 3,0 a 4,5 m (aeração mecânica) e 4,5 a 6,0 m (ar difuso).
- A profundidade do reator deve ser estabelecida em conformidade com o aerador a ser adotado (consultar catálogo do fabricante).
- A borda livre do tanque deve ser em torno de 0,5 m.
- As dimensões em planta devem ser estabelecidas em função do regime hidráulico selecionado, e devem ser compatíveis com as áreas de influência dos aeradores.
- Caso a estação tenha vazão máxima superior a 250 L/s, deve-se ter mais de um reator.
- Usualmente os tanques são de concreto armado com paredes verticais mas, sempre que possível, deve-se analisar a alternativa de tanques taludados (paredes mais delgadas ou argamassa armada).
- Caso haja mais de uma unidade, pode-se utilizar paredes comuns entre as mesmas.
- Os aeradores mecânicos de baixa rotação devem ser apoiados em passarelas e pilares (dimensionados para resistir à torção). Os aeradores mecânicos de alta rotação são ancorados nas margens.
- Os aeradores mecânicos podem ter a capacidade de oxigenação controlada por meio de variação da submersão dos aeradores (variação do nível do vertedor de saída ou do eixo do aerador), da velocidade dos aeradores, ou por liga-desliga dos aeradores.
- A aeração por ar difuso pode ter a capacidade de oxigenação controlada por meio de ajuste das válvulas de saída dos sopradores ou das válvulas de entrada nos reatores.
- A entrada do afluente submersa evita o desprendimento do gás sulfídrico presente no efluente do reator anaeróbio.
- A saída do tanque é por vertedores colocados na extremidade oposta à da entrada.
- Caso haja mais de uma unidade, os arranjos de entrada e saída devem permitir o isolamento de uma unidade para eventual manutenção.
- Deve-se prever by-pass ao reator UASB, possibilitando a introdução de até cerca de 30% a 50% da vazão do esgoto bruto diretamente no tanque de aeração, caso necessário. Este by-pass pode ser utilizado como medida de proteção ao reator UASB, bem como com o intuito de fornecer maior quantidade de matéria orgânica ao sistema de lodos ativados (eventual aumento da biomassa, aumento da capacidade de floculação ou fornecimento de carbono orgânico para desnitrificação).
- Deve-se dar condições de quebra da espuma eventualmente formada, por meio de mangueiras ou aspersores, e de encaminhamento da mesma para caixas de espuma ou para os decantadores secundários.
- Deve-se prever a possibilidade de drenagem do tanque para eventual esvaziamento, por meio de bombas submersíveis (mais simples e confiáveis) ou por descargas de fundo.

- No caso de interferência com o NA do lençol freático, deve-se possibilitar algum meio de alívio da sub-pressão, quando o tanque estiver vazio.

Os seguintes comentários podem ser feitos com relação aos decantadores secundários circulares e retangulares, com remoção mecanizada de lodo:

Decantador retangular:

- A distribuição da vazão afluyente deve ser homogênea, de forma a evitar velocidades horizontais excessivas e curto-circuitos hidráulicos.
- A profundidade útil do tanque deve situar-se entre 3,0 e 4,5 m.
- A relação comprimento / largura deve ser igual ou superior a 3,0.
- A relação comprimento / profundidade não deve exceder o valor de 10 a 15.
- Caso a largura de um tanque exceda 6 m, pode-se adotar coletores de lodo múltiplos, de forma a permitir uma largura de até 24 m.
- O mecanismo coletor de lodo deve possuir uma elevada capacidade, de forma a evitar caminhos preferenciais do líquido pelo lodo, devendo ser também robusto, de maneira a transportar e remover lodos mais densos acumulados durante interrupções da operação.
- Os mecanismos de remoção do lodo mais comuns são: (a) raspador com ponte móvel, (b) raspador com correntes submersas e (c) removedores por sucção. Os mecanismos de raspagem transportam o lodo para um ou mais poços na extremidade de entrada do tanque.

Decantador circular:

- A faixa mais usual de diâmetros varia de 10 m a 40 m.
- A profundidade útil do tanque (parede lateral) deve situar-se entre 3,0 e 4,5 m.
- A relação diâmetro/profundidade lateral não deve exceder o valor de 10.
- A remoção do lodo pode ser por raspadores rotatórios, que dirigem o lodo para um poço no centro do tanque, ou por mecanismos de sucção apoiados em pontes rotatórias.
- O fundo do tanque deve possuir uma declividade em torno de 1:12, no caso de remoção do lodo por raspadores, ou ser aproximadamente plano, no caso de remoção por sucção.

A NB-570 (ABNT, 1989) sugere a observação aos seguintes itens:

Decantador secundário com remoção mecanizada de lodo:

- O dispositivo de remoção deve ter velocidade igual ou inferior a 20 mm/s, no caso de decantador retangular, e velocidade periférica igual ou inferior a 40 mm/s, no caso de decantador circular.
- A altura mínima de água (*parede lateral*) deve ser igual ou superior a 2,0 m.
- Para decantador retangular, a relação comprimento/altura mínima de água deve ser igual ou superior a 4:1; a relação largura/altura mínima de água deve ser igual ou superior a 2:1; a relação comprimento/largura deve ser igual ou superior a 2:1.
- Para decantador final retangular, a velocidade de escoamento horizontal deve ser igual ou inferior a 20 mm/s.
- O decantador final circular, com remoção de lodo por raspagem, deve ter o fundo com inclinação mínima, para o centro, na razão de 1 vertical : 12 horizontal.
- O decantador final retangular, com remoção por sucção ao longo do tanque, deve ter o fundo horizontal.

Decantador secundário sem remoção mecanizada de lodo (tipo Dortmund, com fundo bastante inclinado):

- A altura mínima de água (*parede lateral*) deve ser igual ou superior a 0,5 m.
- O decantador pode ser circular ou quadrado, com poço de lodo cônico ou piramidal de base quadrada, descarga de lodo por gravidade, inclinação de paredes igual ou superior a 1,5 vertical por 1,0 horizontal e diâmetro ou diagonal não superior a 7,0 m.
- O decantador pode ser retangular, com alimentação pelo lado menor, desde que a parte inferior seja totalmente constituída de poços piramidais com base quadrada, de lado não superior a 5,0 m, com descargas individuais.
- A carga hidrostática mínima para a remoção do lodo deve ser considerada como igual a duas vezes a perda de carga hidráulica para água e não inferior a 0,5 m.
- A tubulação de descarga de lodo deve ter diâmetro mínimo de 150 mm.

5.7 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

O sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios é capaz de produzir, sem alterações de processo, conversão satisfatória de amônia para nitrato (**nitrificação**), convertendo-a a nitrato. Neste caso, a amônia é removida, mas o nitrogênio não, já que houve apenas uma conversão da forma do nitrogênio.

Deve-se ressaltar que têm ocorrido dificuldades operacionais para a manutenção do processo de nitrificação, no caso do pós-tratamento de efluentes anaeróbios. Tais fatos aparentemente estão ligados a problemas de toxicidade às bactérias nitrificantes, causadas provavelmente pela presença de formas reduzidas de enxofre.

A remoção biológica de nitrogênio é alcançada em condições de ausência de oxigênio, mas na presença de nitratos e nitritos (denominadas condições anóxicas). Nestas condições, um grupo de bactérias utiliza nitratos e nitritos no seu processo respiratório, convertendo-os a nitrogênio gasoso, que escapa na atmosfera. Este processo é denominado **desnitrificação**.

Lodos ativados como pós-tratamento de efluentes anaeróbios não são particularmente eficientes na remoção de nitrogênio, pelo fato de haver pouca disponibilidade de matéria orgânica para os organismos que realizam a desnitrificação, uma vez que grande parte da matéria orgânica foi previamente removida no reator UASB. Uma forma de se fornecer matéria orgânica para o lodos ativados é através de um by-pass parcial ao reator UASB, fornecendo esgoto bruto para o tanque de aeração. Para se alcançar a desnitrificação no sistema de lodos ativados, são necessárias ainda modificações no processo, incluindo a criação de zonas anóxicas e possíveis recirculações internas.

Pode-se ainda fazer a remoção do nitrogênio por métodos físico-químicos, os quais não se enquadram no escopo do presente trabalho.

São os seguintes os principais fluxogramas para a nitrificação e desnitrificação biológicas combinadas em um reator único (ver Figura 5.11):

- Pré-desnitrificação (remoção de nitrogênio com carbono do esgoto bruto)
- Pós-desnitrificação (remoção de nitrogênio com carbono da respiração endógena)
- Processo Bardenpho de quatro estágios
- Reatores de operação intermitente (batelada)

Estes sistemas têm sido adotados principalmente para as variantes clássicas de sistema de lodos ativados (lodos ativados convencional e aeração prolongada). Há ainda outros sistemas, com nitrificação e desnitrificação em linhas separadas da remoção de carbono, bem como outros processos que usam uma fonte de carbono externo (usualmente metanol) para a desnitrificação. No entanto, estes sistemas são mais complexos, fazendo com que os sistemas de reator único, sem fonte externa de carbono, venham sendo mais utilizados. A seguir descreve-se sucintamente cada uma das principais variantes apresentadas na Figura 5.11.

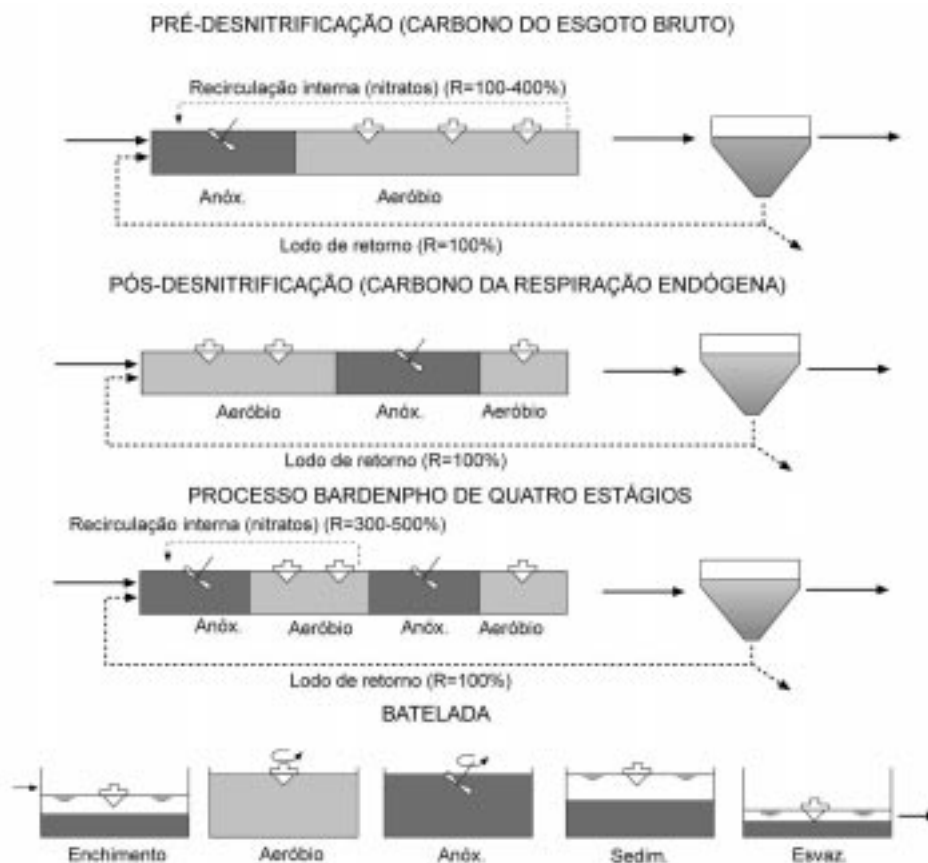


Figura 5.11 - Principais processos para a remoção biológica de nitrogênio (na configuração de reator UASB – lodos ativados, os fluxogramas devem incluir, a montante, o reator UASB)

a) Pré-desnitrificação (remoção de nitrogênio com carbono do esgoto afluyente)

O reator possui uma zona anóxica seguida pela zona aeróbica. A nitrificação ocorre na zona aeróbica, conduzindo à formação de nitratos. Os nitratos são direcionados à zona anóxica, por meio de recirculação interna. Na zona anóxica, os nitratos são convertidos a nitrogênio gasoso, escapando para a atmosfera. Caso não houvesse a recirculação interna, a única forma de retorno dos nitratos seria via o lodo de retorno, com os possíveis riscos operacionais de desnitrificação no decantador secundário (formação de bolhas de N_2 , causando lodo ascendente). Este processo é também denominado Ludzack-Ettinger modificado.

A recirculação interna é feita com elevadas razões de recirculação, de 100 a 400% da vazão afluyente. A eficiência da desnitrificação está diretamente associada à quantidade de nitrato que é retornada à zona anóxica. Por exemplo, caso sejam retornados 80% dos nitratos para a zona anóxica, há um potencial de remoção dos mesmos de 80%. Os outros 20% saem com o efluente final.

Nas zonas anóxicas de sistemas com pré-desnitrificação, a taxa de desnitrificação é mais elevada, devido à maior concentração de carbono orgânico na zona anóxica, trazido pelo esgoto afluyente (principalmente se houver *by-pass* do esgoto bruto ao reator UASB, como forma de se elevar a quantidade de carbono orgânico na zona anóxica).

As vantagens do arranjo com pré-desnitrificação são:

- menor tempo de detenção na zona anóxica, comparado ao arranjo de pós-desnitrificação;
- redução do consumo de oxigênio, face à estabilização da matéria orgânica utilizando o nitrato como receptor de elétrons na zona anóxica;
- possibilidade da redução do volume da zona aeróbia, em decorrência da estabilização de parte da DBO na zona anóxica (a redução do volume não deverá ser tal, que afete a nitrificação);
- não há necessidade de um tanque de reaeração separado, como no arranjo de pós-desnitrificação.

A desvantagem é que, para se alcançar alta eficiência de desnitrificação, há necessidade de razões de recirculação interna bastante elevadas, o que nem sempre é aconselhável economicamente. Por isto, as razões de recirculação interna estão limitadas a 400% ou 500%. As elevatórias de recirculação interna são projetadas para trabalhar com baixas perdas de carga (o NA nas zonas anóxica e aeróbia é praticamente o mesmo) e elevadas vazões. De qualquer forma, a aquisição destas bombas é um fator de custo considerável. Outro problema é que poderá haver recirculação de oxigênio dissolvido, o que prejudica o desenvolvimento da desnitrificação.

b) Remoção de nitrogênio com carbono da respiração endógena

O reator compreende uma zona aeróbia seguida por uma zona anóxica e, opcionalmente, uma zona aeróbia final. A remoção de carbono e a produção de nitratos ocorrem na zona aeróbia. Os nitratos formados entram na zona anóxica, onde são reduzidos a nitrogênio gasoso. Desta forma, não há necessidade de recirculações internas, como no sistema de pré-desnitrificação. Este processo, sem a zona aeróbia final, é também denominado processo Wuhrmann.

A desvantagem é que a desnitrificação ocorre em condições endógenas, já que a maior parte do carbono orgânico a ser utilizado pelas bactérias desnitrificantes foi removido na zona aeróbia (além da grande remoção, já ocorrida no reator UASB). Em decorrência, a taxa de desnitrificação é menor, o que implica na necessidade de maiores tempos de detenção na zona anóxica, comparado com a alternativa de pré-desnitrificação.

Uma possibilidade de se aumentar a taxa de desnitrificação é através da adição de uma fonte externa de carbono, como metanol. Ainda que esta prática conduza a elevadas taxas de desnitrificação, ela não tem sido adotada em projetos mais recentes, em virtude de representar a necessidade da adição contínua de um produto químico, o que repercute, não somente em custos, mas também em aumento da complexidade operacional do sistema.

Uma outra possibilidade para se aumentar a taxa de desnitrificação na zona anóxica é a de se direcionar parte do esgoto bruto diretamente à zona anóxica, através de *by-pass* ao reator UASB e à zona aeróbia. Mesmo que uma fração considerável da DBO da linha do *by-pass* possa ser removida na zona anóxica, há o problema de se introduzir amônia não nitrificada na zona anóxica, deteriorando a qualidade do efluente.

A zona final é de reaeração, com um baixo tempo de detenção (em torno de 30 minutos). As principais finalidades são o desprendimento das bolhas de nitrogênio gasoso e a adição de oxigênio dissolvido antes da sedimentação.

c) Processo Bardenpho de quatro estágios

O processo Bardenpho corresponde a uma combinação dos dois arranjos anteriores, compreendendo uma pré-desnitrificação e uma pós-desnitrificação, além da zona de reaeração final. A eficiência de remoção de nitrogênio é bastante elevada, já que os nitratos não removidos na primeira zona anóxica têm uma segunda oportunidade de serem removidos, na segunda zona anóxica. A desvantagem é a necessidade de reatores com um volume total maior. No entanto, caso sejam necessárias elevadas eficiências de remoção de nitrogênio, não se deve considerar este aspecto como uma desvantagem, mas sim como um requisito do processo.

d) Reatores de operação intermitente (batelada)

Os sistemas por batelada são operados com etapas cíclicas. Como foi visto anteriormente, cada ciclo é composto por uma sequência de etapas de enchimento, reação, sedimentação, esvaziamento e, eventualmente, repouso. Dependendo do perfil de geração de carga ao longo do dia, pode-se ter um tanque apenas, ou mais de um (dois, três ou mais) em paralelo, cada um em uma etapa distinta do ciclo. Maiores detalhes sobre os reatores por batelada estão apresentados no Item 5.8.

Durante o período de enchimento, pode ocorrer alguma remoção de formas oxidadas de nitrogênio (principalmente nitratos), remanescentes do ciclo anterior, caso os aeradores estejam desligados. Tem-se, portanto, uma pré-desnitrificação com carbono orgânico do esgoto afluente. Após a etapa de reação aeróbia, tem-se uma etapa anóxica, na qual ocorre a pós-desnitrificação, em condições endógenas.

A vantagem do sistema é a sua simplicidade conceitual, dispensando decantadores e recirculações separadas. A desvantagem é que o equipamento de aeração só funciona parte do tempo. Portanto, nos períodos de aeração, a transferência de oxigênio terá que ser maior. Por esta razão, a quantidade de aeradores num sistema de bateladas necessita ser maior (maior potência instalada) que num sistema de fluxo contínuo, sob condições operacionais comparáveis.

5.8 SISTEMAS DE OPERAÇÃO INTERMITENTE (BATELADA)

O princípio de funcionamento do sistema de lodos ativados com operação intermitente (batelada) foi explicado nos itens 5.2.4 e 5.6.d. Estes reatores são também denominados RSB (reator sequencial em batelada). A Figura 5.12 apresenta um ciclo operacional típico, ao passo que Tabela 5.8 resume as principais características de cada etapa do ciclo.

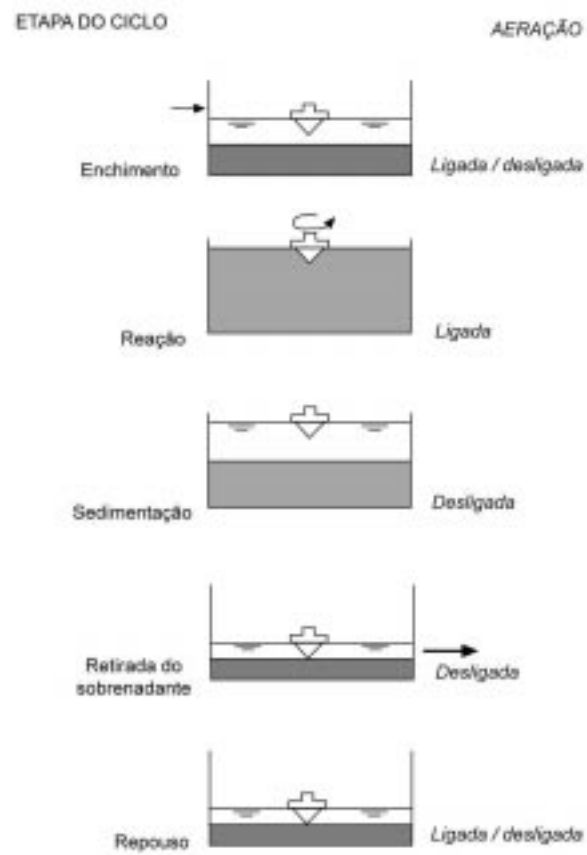


Figura 5.12 - Ciclo operacional do processo de operação intermitente, objetivando remoção de DBO

Tabela 5.8 - Etapas do ciclo de operação de um reator aeróbio por batelada

| Etapa | Descrição |
|--|---|
| <i>Enchimento</i> | <ul style="list-style-type: none"> A operação de enchimento consiste na adição do esgoto e do substrato para a atividade microbiana. O ciclo de enchimento pode ser controlado por válvulas de bóia, até um volume pré-estabelecido, ou por temporizadores, para sistemas com mais de um reator. Um método simples e comumente aplicado para controlar o ciclo de enchimento é baseado no volume do reator, resultando em tempos de enchimento inversamente relacionados à vazão afluyente. A fase de enchimento pode incluir várias fases de operação e está sujeita a vários modos de controle, denominados <i>enchimento estático</i>, <i>enchimento com mistura</i> e <i>enchimento com reação</i>. O <i>enchimento estático</i> envolve a introdução do esgoto sem mistura ou aeração. Este tipo de enchimento é mais comum em estações que objetivam a remoção de nutrientes. Nestas aplicações, o enchimento estático é acompanhado de um <i>enchimento com mistura</i>, de forma a que os microrganismos estejam expostos a uma quantidade suficiente de substrato, ao passo que se mantêm condições anóxicas ou anaeróbias. Tanto a mistura quanto a aeração são efetuadas no estágio de <i>enchimento com reação</i>. O sistema pode alternar entre <i>enchimento estático</i>, <i>enchimento com mistura</i> e <i>enchimento com reação</i>, ao longo do ciclo operacional. |
| <i>Reação</i> | <ul style="list-style-type: none"> O objetivo do estágio de reação é completar as reações iniciadas durante o enchimento. A etapa de reação pode compreender mistura, aeração, ou ambos. Como no caso do ciclo de enchimento, os processos desejados podem requerer ciclos alternados de aeração. A duração da fase de reação pode ser controlada por temporizadores, pelo nível do líquido ou pelo grau de tratamento, através de monitoramento do reator. Dependendo da quantidade e duração da aeração durante a fase de enchimento, pode ou não haver uma fase de reação específica. |
| <i>Sedimentação</i> | <ul style="list-style-type: none"> A separação sólido-líquido ocorre durante a fase de sedimentação, análoga à operação de um decantador secundário em uma ETE convencional. A sedimentação em um sistema intermitente pode ter uma eficiência superior à de um decantador de fluxo contínuo, devido ao maior repouso do líquido em um tanque de batelada, sem interferência de entrada e saída de líquidos. |
| <i>Esvaziamento (retirada do sobrenadante)</i> | <ul style="list-style-type: none"> O efluente clarificado é retirado durante a fase de esvaziamento. O esvaziamento pode ser efetuado através de vários mecanismos, os mais comuns sendo vertedores flutuantes ou ajustáveis. |
| <i>Repouso</i> | <ul style="list-style-type: none"> A fase final é denominada de repouso, sendo utilizada apenas em aplicações com vários tanques. O tempo alocado à fase de repouso depende do tempo requerido para o tanque precedente completar o seu ciclo completo. O descarte de lodo ocorre tipicamente nesta fase. |

Fontes: EPA (1993)

A duração usual de cada ciclo pode ser alterada em função das variações da vazão afluyente, das necessidades do tratamento e das características do esgoto e da biomassa no sistema.

O descarte do lodo excedente geralmente é efetuado durante o último ciclo (*Repouso*), mas como este é opcional, já que a sua finalidade é a de permitir o ajuste entre os ciclos de operação de cada reator, o descarte pode se dar em outras fases do processo. A quantidade e a frequência de descarte do lodo são estabelecidas em função dos requisitos de performance, da mesma forma que nos processos convencionais de fluxo contínuo.

Normalmente a estação tem dois ou mais reatores de batelada operando em paralelo, cada um em diferentes etapas do ciclo operacional. Em sistemas que recebem vazão ao longo de todas as horas do dia, como no caso de tratamento de esgotos domésticos, esta necessidade é imperiosa, já que um reator em etapa de sedimentação, por exemplo, não recebe afluyente. Neste momento, o afluyente está sendo direcionado para outro reator, o qual se encontra em etapa de enchimento. Em estações que recebem despejos de forma intermitente, como em indústrias que trabalham somente 8 horas, pode haver apenas um reator, que trabalha em enchimento por 8 horas, e desempenha as outras etapas do ciclo nas 16 horas subsequentes. A Figura 5.13 mostra esquematicamente uma ETE com três reatores em paralelo.

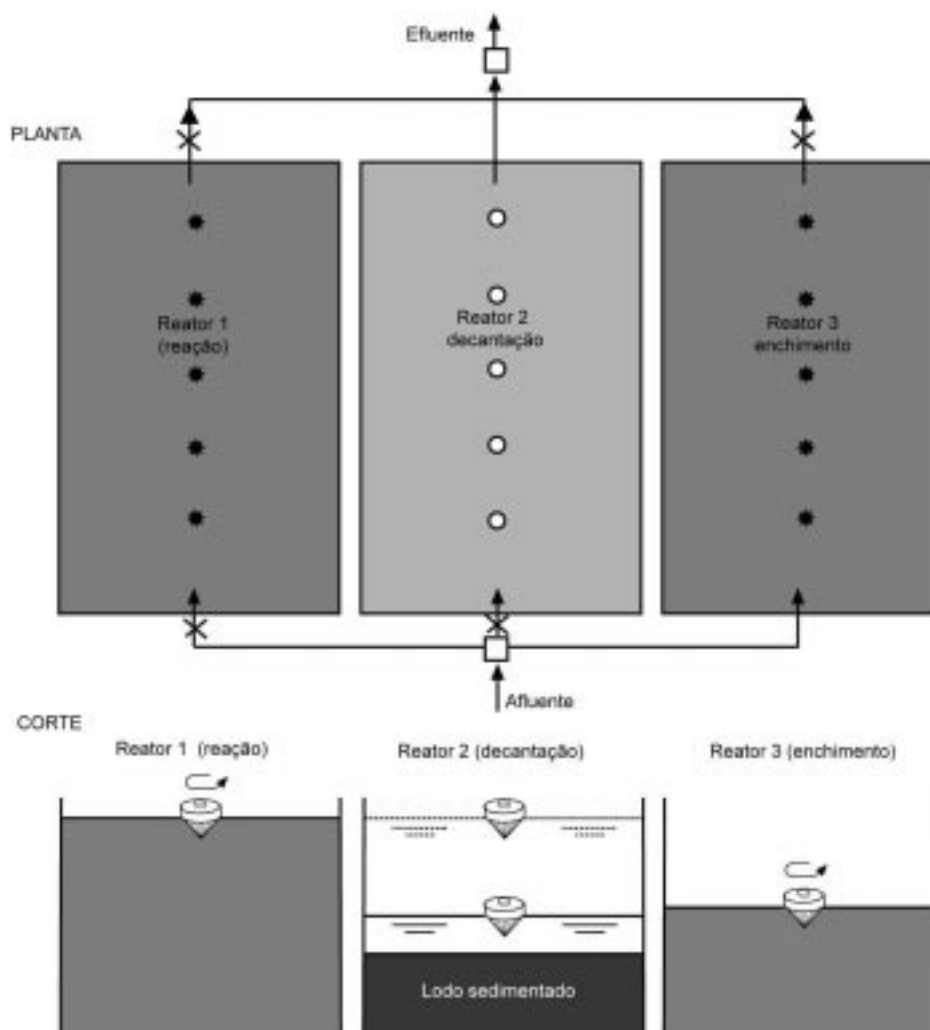


Figura 5.13 - Arranjo de três reatores aeróbios de batelada, operando em paralelo. No sistema UASB – lodos ativados, o afluente vem do reator UASB. (Fonte: VON SPERLING, 1997)

O dimensionamento de um sistema de lodos ativados por batelada, após um reator anaeróbio, deve ter o cuidado de propor um ciclo operacional que se adapte à condição de baixa carga orgânica no afluente à etapa aeróbia. Dimensionamentos que não busquem uma otimização podem conduzir a grandes volumes de enchimento, comparados ao volume do lodo, o que pode resultar num grande e anti-econômico volume do reator aeróbio.

A remoção de nutrientes por meio dos reatores em batelada foi discutida no Item 5.6.d. Valem aqui os mesmos comentários já expressos neste capítulo, acerca da dificuldade de remoção de nitrogênio e fósforo em sistemas de lodos ativados atuando como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.

5.9 ASPECTOS OPERACIONAIS

O presente item enfoca principalmente os principais parâmetros a serem controlados no sistema UASB - lodos ativados (fluxo contínuo). O controle individual do reator UASB não é abordado, por estar amplamente coberto em CAMPOS (1999).

As principais variáveis para manipulação do sistema são:

- *nível de aeração* (coeficiente de transferência de oxigênio - $K_L a$)
- *vazão de recirculação* (Q_r)
- *vazão de lodo excedente* (Q_{ex})
- *vazão de by-pass do reator UASB* ($Q_{by-pass}$)

Os principais objetos de controle no sistema de lodos ativados estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Principais itens de controle no sistema de lodos ativados

| Variável de controle | Item | Detalhamento |
|--------------------------------------|--|---|
| Oxigênio dissolvido | <i>Aeração mecânica</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Liga-desliga de aeradores • Variação da velocidade de rotação dos aeradores (duas velocidades ou velocidades variáveis) • Variação do nível das pás dos aeradores (variação da submersão dos aeradores através da atuação no seu eixo) • Variação do nível do líquido (variação da submersão dos aeradores através do ajuste do vertedor de saída) |
| | <i>Aeração por ar difuso</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Variação da velocidade dos sopradores • Variação das aletas de entrada • Ajuste das válvulas de sucção de todos os sopradores ligados, de forma a manter uma pressão constante na tubulação de alimentação de ar |
| Sólidos no sistema de lodos ativados | <i>Manipulação da vazão de recirculação de lodo (Q_r)</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Q_r constante • Q_r proporcional à vazão afluyente Q • Q_r função de IVL (Índice Volumétrico de Lodo) • Q_r função do nível da manta de lodo nos decantadores secundários |
| | <i>Manipulação da vazão de lodo excedente (Q_{ex})</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Controle de SSTA (SSTA constante); • Controle da carga de lodo (relação A/M constante); • Controle da idade do lodo (θ_c constante) |
| | <i>Manipulação da vazão de by-pass do reator UASB ($Q_{by-pass}$)</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Controle de sobrecarga no reator UASB • Controle da concentração de SSTA no tanque de aeração • Controle da carga de carbono orgânico para a desnitrificação no sistema de lodos ativados |

Fonte: VON SPERLING (1997)

Na Tabela 5.10 são destacados problemas operacionais típicos e suas possíveis causas. O detalhamento dos problemas e das soluções a serem adotadas, as quais geralmente estão associadas a intervenções nas causas, foge ao escopo do presente capítulo, mas pode ser encontrado em diversos livros sobre lodos ativados.

Tabela 5.10 - Principais problemas operacionais no sistema de lodos ativados

| Problemas | Causas |
|--|---|
| Elevadas concentrações de sólidos em suspensão no efluente | <ul style="list-style-type: none"> • Lodo ascendente • Lodo intumescido • Lodo pulverizado • Lodo disperso • Sobrecarga de sólidos nos decantadores secundários (lodo não intumescido) • Sobrecarga hidráulica nos decantadores secundários • Espuma e escuma |
| Elevadas concentrações de DBO particulada no efluente | <ul style="list-style-type: none"> • Elevados teores de SS no efluente final (ver linha acima) |
| Elevadas concentrações de DBO solúvel no efluente | <ul style="list-style-type: none"> • Baixas concentrações de OD no reator • Concentração de SSTA insuficiente • Alta carga de DBO afluente • Elevada variação da carga de DBO afluente • Inibição por substâncias tóxicas • pH fora da faixa de 6,5 a 8,5 • Desbalanceamento de nutrientes • Variações de temperatura |
| Elevadas concentrações de amônia no efluente | <ul style="list-style-type: none"> • Inibição do crescimento das bactérias nitrificantes (baixo OD, baixa temperatura, baixo pH, substâncias tóxicas) • Concentração de SSTA insuficiente • Elevadas cargas de amônia afluente |

5.10 EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA UASB – LODOS ATIVADOS DE FLUXO CONTÍNUO

Dimensionar a etapa de lodos ativados, atuando como pós-tratamento do efluente de um reator UASB. Determinar o volume do reator, o consumo de oxigênio, a potência dos aeradores e a produção e remoção do lodo excedente. Utilizar os dados das Tabelas 5.4 e 5.5.

Dados de entrada:

- População: 50.000 hab
- Vazão média afluyente (incluindo infiltração): $Q = 7.944 \text{ m}^3/\text{d}$ (92 L/s)
- Cargas no esgoto bruto:
 - DQO: 5.000 kg/d (100 gDQO/hab.d)
 - DBO: 2.500 kg/d (50 gDBO₅/hab.d)
 - SS: 3.000 kg/d (60 gDBO₅/hab.d)
 - NTK: 400 kg/d (8 gNTK/hab.d)
- Concentrações no esgoto bruto:
 - DQO: 629 mg/L
 - DBO: 315 mg/L
 - SS: 378 mg/L
 - NTK: 50 mg/L
- Eficiências de remoção de DQO no reator UASB:
 - DQO: 65%
 - DBO: 70%
 - NTK: 10%

O dimensionamento pode ser feito com base na DQO ou na DBO, dependendo da maior familiaridade do projetista com um ou outro parâmetro. No presente exemplo, adota-se a DBO como parâmetro básico mas, sempre que pertinente, são feitas verificações para a DQO.

Não se apresenta aqui o dimensionamento do reator UASB, o qual é amplamente coberto em CAMPOS (1999).

a) Características do afluyente à etapa de lodos ativados (LA)

O afluyente ao sistema de lodos ativados é o efluente do reator UASB. Considerando-se as eficiências de remoção fornecidas nos dados de entrada, tem-se:

DQO:

- Carga DQO afluyente LA = Carga DQO esgoto bruto \times (1 – Eficiência) = $5.000 \text{ kg/d} \times (1 - 0,65) = \mathbf{1750 \text{ kgDQO/d}}$
- Concentração DQO afluyente LA = Concentração DQO esgoto bruto \times (1 – Eficiência) = $629 \text{ mg/L} \times (1 - 0,65) = \mathbf{220 \text{ mgDQO/L}}$

DBO:

- Carga DBO afluyente LA = Carga DBO esgoto bruto \times (1 – Eficiência) = $2.500 \text{ kg/d} \times (1 - 0,70) = \mathbf{750 \text{ kgDBO/d}}$
- Concentração DBO afluyente LA = Concentração DBO esgoto bruto \times (1 – Eficiência) = $315 \text{ mg/L} \times (1 - 0,70) = \mathbf{95 \text{ mgDBO/L}}$

NTK:

- Carga NTK afluente LA = Carga NTK esgoto bruto x (1 – Eficiência) = 400 kg/d x (1-0,10) = **360 kgNTK/d**
- Concentração NTK afluente LA = Concentração NTK esgoto bruto x (1 – Eficiência) = 50 mg/L x (1-0,10) = **40 mgNTK/L**

b) Características estimadas para o efluente final da ETE

Adotando-se eficiências típicas globais para o sistema UASB – lodos ativados apresentadas na Tabela 5.3, tem-se as seguintes estimativas para as concentrações no efluente final da ETE:

| Parâmetro | Eficiência global de remoção adotada (%) | Concentração no esgoto bruto (mg/L) | Concentração estimada no efluente final (mg/L) |
|---|--|-------------------------------------|--|
| DBO | 85 - 95 | 315 | 15 – 45 |
| DQO | 83 - 90 | 629 | 60 – 100 |
| SS | 85 - 95 | 378 | 15 – 50 |
| Concentração efluente = Concentração afluente x (100 – Eficiência/100) (valores arredondados) | | | |

c) Dimensionamento do reator

Parâmetros de projeto adotados (ver Tabela 5.5):

- Relação A/M: **A/M = 0,35 kgDBO/kgSSVTA.d**
- Sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração: **SSVTA = X_v = 1500 mg/L**

O volume do reator pode ser calculado com base no conceito da relação A/M:

$$V = \frac{Q \cdot \text{DBO}_{\text{afluente LA}}}{X_v \cdot (A/M)} = \frac{\text{carga DBO}_{\text{afluente LA}} \times 1000}{X_v \cdot V} = \frac{750 \times 1000}{1500 \times 0,35} = 1.429 \text{ m}^3$$

Podem ser adotados **2 tanques**, cada um com volume de $(1.429 \text{ m}^3) / 2 = 715 \text{ m}^3$

Adotando-se uma profundidade de **3,5 m**, tem-se que a área superficial de cada tanque é $715 \text{ m}^3 / 3,5 \text{ m} = 201 \text{ m}^2$

A relação comprimento/largura pode variar com o arranjo no terreno e com a disposição dos aeradores (caso seja aeração mecânica). Para efeito deste exemplo, adotar: Comprimento **L = 8,2 m** e largura **B = 24,6 m** (relação comprimento/largura: **L/B = 3**). O volume total resultante é de **1.412 m³**.

O tempo de detenção hidráulica (θ_h) resultante no tanque de aeração é:

$$\theta_h = V / Q = 1.412 / 7.944 = 0,18 \text{ d} = \mathbf{4,3 \text{ h}}$$
 (adequado, segundo Tabela 5.5)

A relação SSVTA/SSTA (= SSV/SS = X_v/X) adotada no tanque de aeração é 0,75 (ver Tabela 5.5).

A concentração de SSTA (X) no tanque de aeração é:

$$\text{SSTA} = \text{SSVTA} / (\text{SSV/SS}) = (1.500 \text{ mg/L}) / (0,75) = \mathbf{2.000 \text{ mg/L}}$$

d) Estimativa da produção e da remoção de lodo excedente

Coeficiente de produção de lodo: 0,60 kgSS/kgDBO aplicada ao tanque de aeração (ver Tabela 5.5)

A produção de lodo aeróbio excedente, a ser dirigido ao reator UASB, é :

$$P_X = 0,60 \text{ kgSS/kgDBO} \times 750 \text{ kgDBO/d} = \mathbf{450 \text{ kgSS/d}}$$

A produção per capita de SS aeróbio é:

$$P_X \text{ per capita} = 450 \text{ kgSS/d} / 50.000 \text{ hab} = 0,009 \text{ kgSS/hab.d} = 9 \text{ gSS/hab.d (adequada, segundo Tabela 5.5)}$$

A distribuição do lodo excedente, em termos de sólidos voláteis e sólidos fixos, é função da relação SSV/SS (igual a 0,75 no presente exemplo). Desta forma, a distribuição é:

- Sólidos totais: $P_X = 450 \text{ kgSS/d}$
- Sólidos voláteis: $P_{XV} = (\text{SSV/SS}) \times P_X = 0,75 \times 450 = 338 \text{ kgSSV/d}$
- Sólidos fixos: $P_{XF} = (1 - \text{SSV/SS}) \times P_X = (1 - 0,75) \times 450 = 112 \text{ kgSSF/d}$

A concentração do lodo aeróbio excedente é a mesma do lodo de recirculação, já que o lodo excedente é retirado da linha de recirculação. Esta concentração é função da concentração de SSTA e da razão de recirculação $R (= Q_r/Q)$. No exemplo, SSTA = 2000 mg/L e R é adotado como **0,8** (ver Tabela 5.5). A concentração de SS no lodo aeróbio excedente e no lodo de retorno (X_r) é:

$$X_r = X \cdot (1+R)/R = 2000 \text{ mg/L} \times (1+0,8)/0,8 = \mathbf{4.500 \text{ mgSS/L}} = 4.500 \text{ gSS/m}^3 = 4,5 \text{ kgSS/m}^3$$

A vazão de lodo aeróbio excedente, retornado ao reator UASB é:

vazão = carga / concentração

$$Q_{\text{ex aeróbio}} = (450 \text{ kgSS/d}) / (4,5 \text{ kgSS/m}^3) = \mathbf{100 \text{ m}^3/\text{d}}$$

Esta vazão é bastante baixa comparada com a vazão afluyente ao reator UASB, representando apenas cerca de **1,3%** desta ($100/7.944 = 0,013$), ou seja, o impacto hidráulico do retorno do lodo aeróbio excedente ao UASB é desprezível. Por outro lado, pode-se estimar a carga orgânica no lodo excedente em 507 kgDQO/d (1 kg de SSV gera uma DQO de aproximadamente 1,5 kg, ou seja, $338 \text{ kgSSV/d} \times 1,5 \text{ kgDQO/kgSSV} = 507 \text{ kgDQO/d}$). Desta forma, a carga de DQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB é somente $507 \text{ kg}/5.000 \text{ kg} = \mathbf{10 \%}$ da DQO do afluyente. Este aumento da carga não deve afetar o desempenho do reator UASB, principalmente considerando-se que o desempenho de reatores UASB tratando esgotos domésticos é mais influenciado pela carga hidráulica que pela carga orgânica.

e) Cálculo do consumo de oxigênio e da potência requerida para os aeradores

O consumo médio de O_2 para a demanda carbonácea (oxidação da DQO) adotado é de 0,90 kg O_2 /kgDBO aplicado (ver Tabela 5.5). A carga de DBO aplicada aos lodos ativados é de 750 kgDBO/d. O consumo de O_2 é:

$$\text{Consumo médio } O_2 \text{ demanda carbonácea} = 0,90 \text{ kg}O_2/\text{kgDQO} \times 750 \text{ kgDBO/d} = 675 \text{ kg}O_2/\text{d}$$

O consumo médio de O_2 para a demanda nitrogenada (oxidação da amônia) adotado é de 4,6 kgO_2/kg Ndisponível) (ver Tabela 5.5). A carga de NTK disponível corresponde à carga aplicada menos a carga de N incorporada ao lodo excedente (10% da produção de SSV). No presente exemplo, a carga de SSV produzida foi calculada como 460 $kgSSV/d$. A carga de N disponível é:

$$\text{Carga N disponível} = \text{carga N aplicada} - \text{carga N lodo excedente} = 360 - 0,1 \cdot 460 = 314 \text{ kgN/dia}$$

O consumo de O_2 para a demanda nitrogenada é:

$$\text{Consumo médio } O_2 \text{ demanda nitrogenada} = 4,6 \text{ kgO}_2/\text{kgNTK} \times 314 \text{ kgNTK/d} = 1.444 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Este valor corresponde a $(1.444 \text{ kgO}_2/\text{d}) / (360 \text{ NTK aplicado}) = 4,0 \text{ kgO}_2/\text{kgNTK}_{\text{aplicado}}$ (confere com Tabela 5.5).

O consumo médio total é:

$$\text{Consumo médio total de } O_2 = \text{Demanda carbonácea} + \text{Demanda nitrogenada} = 675 + 1.444 = \mathbf{2.119 \text{ kgO}_2/\text{d}}$$

Observa-se que, diferentemente do lodos ativados convencional, neste caso o consumo de O_2 é dominado pela demanda nitrogenada ($1444/2119 = 68\%$ do total), uma vez que a maior parte da DBO foi previamente removida no reator UASB.

A taxa de consumo de oxigênio (média) é:

$$\text{TCO média} = \text{Consumo médio } O_2 / \text{Volume reator} = (2.119 \text{ kgO}_2/\text{d}) / (1.412 \text{ m}^3) = 1,50 \text{ kgO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{d} = 63 \text{ mgO}_2/\text{L} \cdot \text{h}$$

O consumo de O_2 , para satisfazer à demanda em condições de pico, é função da relação entre o consumo máximo de O_2 e o consumo médio de O_2 . No presente exemplo, considerando-se a presença do reator UASB a montante, e o fato da estação ser de porte médio, adotou-se 1,3 (ver Tabela 5.5):

$$\text{Consumo de } O_2 \text{ máximo} = (\text{Relação consumo máximo/consumo médio}) \times \text{Consumo médio} = 1,3 \times 2.119 \text{ kgO}_2/\text{d} = \mathbf{2.755 \text{ kgO}_2/\text{d}}$$

Este consumo de O_2 é o que ocorre no campo. O valor do consumo em condições padrão (água limpa, 20° C, nível do mar) deve ser maior, para que, no campo, o valor reduzido seja igual à demanda. O fator de correção padrão/campo adotado é de 1,6 (ver Tabela 5.5). O consumo de O_2 , expresso em condições padrão, é:

$$\text{Consumo de } O_2 \text{ em condições padrão} = (\text{Relação padrão/campo}) \times \text{Consumo } O_2 \text{ campo} = 1,6 \times 2.755 \text{ kgO}_2/\text{d} = \mathbf{4.408 \text{ kgO}_2/\text{d}} = 184 \text{ kgO}_2/\text{h}$$

Adotando-se uma eficiência de oxigenação padrão de 1,8 kgO_2/kWh (ver Tabela 5.5), tem-se a seguinte potência necessária:

$$\text{Potência requerida} = \text{Consumo } O_2 / \text{Eficiência de oxigenação} = (184 \text{ kgO}_2/\text{h}) / (1,8 \text{ kgO}_2/\text{kWh}) = 102 \text{ kW} = 139 \text{ CV}$$

Como há 2 tanques de aeração, e a relação comprimento/largura em cada um deles é de 3, pode-se adotar **3** aeradores em cada tanque, perfazendo um total de **6 aeradores**. A potência de cada aerador é:

Potência requerida para cada aerador = Potência total / número aeradores = 139 CV / 6 = 23 CV.

Deve-se adotar um valor comercial para a potência instalada, superior à requerida, para se ter capacidade de oxigenação suficiente quando houver by-pass do esgoto bruto. No presente exemplo, adotar aeradores de **30 CV**).

A potência total instalada é: 30 CV x 6 = **180 CV = 132 kW**

A potência instalada per capita é de 132.000 W / 50.000 hab = 2,64 W/hab (adequada, segundo Tabela 5.3)

Uma avaliação do potencial de produção de energia elétrica, a partir do biogás do reator anaeróbio, mostra que é possível produzir mais que 5 W/hab. Como este valor é bastante superior à potência instalada per capita (2,64 W/hab), observa-se que o sistema pode ser auto-suficiente em termos energéticos.

Caso se pratique controle da aeração por liga-desliga de aeradores, alteração da submergência dos aeradores ou outro método, e levando-se em conta ainda que o by-pass do esgoto bruto deverá ser apenas eventual, a potência consumida média será inferior à instalada. Para se calcular o consumo médio, deve-se basear na relação entre os consumos máximo e médio. No entanto, a relação entre consumo máximo / consumo médio de O₂ adotada acima (1,3) não é elevada, em função da grande capacidade de amortecimento de cargas proporcionada pelo reator UASB. É provável que haja dificuldade em se igualar a produção de oxigênio ao consumo médio ao longo do dia (esta prática seria mais fácil, caso a relação entre consumo máximo e médio fosse maior, como em sistemas de lodos ativados convencional). Neste exemplo, adotar, portanto, a potência consumida como igual à requerida, a qual é calculada em função do consumo máximo de O₂.

Potência consumida = 102 kW x 24 h/d x 365 d/ano = **893.520 kWh/ano** (18 kWh/hab.ano – adequado, segundo Tabela 5.3).

A densidade de potência média (dissipação de energia), parâmetro que exprime a capacidade de mistura dos aeradores, é calculada como:

Densidade de potência = Potência média / Volume reator = (102.000 W) / (1.412 m³) = 72 W/m³ (amplamente suficiente para manter o lodo em suspensão).

f) Dimensionamento do decantador secundário

Parâmetros de projeto adotados (ver Tabela 5.5):

- Taxa de escoamento superficial: $q_A = 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
- Taxa de aplicação de sólidos: $TAS = 120 \text{ kgSS}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

A área superficial requerida, segundo o conceito da taxa de escoamento superficial (q_A adotada = 30 m³/m².d), é:

$$\text{Área} = Q / q_A = (7.944 \text{ m}^3/\text{d}) / (30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 265 \text{ m}^2$$

A área superficial requerida, segundo o conceito de taxa de aplicação de sólidos, é função da carga de sólidos afluente aos decantadores. Para o cálculo da carga de sólidos, tem-se que a vazão de lodo de retorno $Q_r = R \times Q$. No item d do exemplo, adotou-se a razão de recirculação $R (= Q_r/Q) = 0,8$. A vazão de lodo de retorno é, portanto, $Q_r = 0,8 \times 7.944 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{6.355 \text{ m}^3/\text{d}}$. A concentração de SSTA, calculada no item c, é $2.000 \text{ mg/L} = 2.000 \text{ g/m}^3 = 2,0 \text{ kg/m}^3$. Para a taxa de aplicação de sólidos de $120 \text{ kgSS/m}^2.\text{d}$, tem-se:

$$\text{Área} = \text{Carga de SS} / \text{TAS} = (Q + Q_r) \cdot \text{SSTA} / \text{TAS} = [(7.944 + 6.355) \text{ m}^3/\text{d} \times 2,0 \text{ kgSS/m}^3 / (120 \text{ kgSS/m}^2.\text{d})] = 238 \text{ m}^2$$

Adotar o maior valor entre os dois calculados (265 m^2 e 238 m^2), isto é, **265 m^2** .

Adotando-se 2 decantadores, tem-se que a área superficial de cada um é: $265 \text{ m}^2 / 2 = 133 \text{ m}^2$

Adotando-se decantadores circulares, tem-se que o diâmetro de cada decantador é:

$$\text{Diâmetro} = (\text{Area} \times 4 / \pi)^{1/2} = (133 \text{ m}^2 \times 4 / 3,14)^{0,5} = \mathbf{13,0 \text{ m}}$$

Adotando-se profundidade **$H = 3,5 \text{ m}$** , tem-se que o volume total dos decantadores é de $3,5 \text{ m} \times 265 \text{ m}^2 = \mathbf{928 \text{ m}^3}$.

A declividade do fundo dos decantadores é função do tipo de remoção do lodo: raspadores necessitam de uma declividade em torno de 1:12 (vert/horiz), ao passo que removedores por sucção podem trabalhar com o fundo plano. Decantadores tipo Dortmund possuem uma declividade bem mais elevada, e menor altura da parede lateral. Caso haja declividade, o volume da parte cônica pode entrar no cômputo do volume total.

O tempo de detenção hidráulica nos decantadores secundários é:

$$\theta_h = V/Q = (928 \text{ m}^3) / (7.944 \text{ m}^3/\text{d}) = 0,12 \text{ d} = \mathbf{2,9 \text{ h}}$$

g) Tratamento do lodo

Segundo o item d, é a seguinte a carga de lodo aeróbio, gerado no sistema de lodos ativados, e retornado ao reator UASB:

- Sólidos totais: $P_X = 450 \text{ kgSS/d}$
- Sólidos voláteis: $P_{XV} = 338 \text{ kgSSV/d}$
- Sólidos fixos: $P_{XF} = 112 \text{ kgSSF/d}$

Supondo uma remoção de 25% dos SSV do lodo aeróbio no reator UASB (Tabela 5.5: valores entre 20 e 30%), e sabendo-se que a carga de sólidos fixos permanece inalterada, tem-se a seguinte carga de lodo aeróbio, retirado do reator UASB:

Lodo aeróbio, digerido no reator UASB:

- Sólidos voláteis: $P_{XV} = 338 \text{ kgSSV/d} \times (1-0,25) = 254 \text{ kgSSV/d}$
- Sólidos fixos: $P_{XF} = 112 \text{ kgSSF/d}$
- Sólidos totais: $P_X = 254 + 112 = \mathbf{366 \text{ kgSS/d}}$

O lodo a ser retirado do reator UASB inclui também o lodo anaeróbio, usualmente produzido no mesmo. Supondo um coeficiente de produção de lodo anaeróbio de $0,30 \text{ kgSS/kgDBO}$ aplicada ao reator UASB (Tabela 5.5), tem-se a seguinte produção de lodo anaeróbio:

Lodo anaeróbio:

- Sólidos totais: $P_X = \text{coeficiente de produção de lodo} \times \text{carga de DBO no esgoto bruto} = 0,30 \text{ kgSS/kgDBO} \times 2.500 \text{ kgDQO/d} = \mathbf{750 \text{ kgSS/d}}$

A quantidade total de lodo a ser retirado do reator UASB (lodo anaeróbio + lodo originalmente aeróbio) é:

Produção total de lodo = lodo anaeróbio + lodo aeróbio = $750 + 366 = \mathbf{1.116 \text{ kgSS/d}}$

A produção per capita de lodo, expresso como matéria seca, é: $1.116 \text{ kgSS/d} / 50.000 \text{ hab} = 0,022 \text{ kgSS/hab.d} = 22 \text{ gSS/hab.d}$ (confere com Tabelas 5.3 e 5.5)

Assumindo-se teor de sólidos no lodo retirado do UASB de **3,0 %** (ver Tabela 5.5), que equivale a aproximadamente 30.000 mgSS/L ou 30 kgSS/m^3 , tem-se a seguinte vazão de lodo retirado do UASB, e a ser dirigido para o tratamento do lodo:

$Q_{\text{ex UASB}} = \text{carga} / \text{concentração} = (1.116 \text{ kgSS/d}) / (30 \text{ kgSS/m}^3) = \mathbf{37 \text{ m}^3/\text{d}}$ ($0,74 \text{ L/hab.d}$ - confere com Tabela 5.5)

O lodo retirado do reator UASB já sai digerido e normalmente adensado, requerendo apenas uma etapa de desidratação. Assumindo-se, por simplicidade, uma eficiência de captura de sólidos de 100% na desidratação, e uma densidade de $1,0 (1.000 \text{ kg/m}^3)$ para o lodo desidratado, e adotando-se um teor de sólidos de **25%** (aproximadamente $250.000 \text{ mgSS/L} = 250.000 \text{ gSS/m}^3 = 250 \text{ kgSS/m}^3$) para o lodo desidratado (desidratação mecânica - ver Tabela 5.5), tem-se as seguintes características do lodo a ser encaminhado para a disposição final:

Lodo a ser disposto (torta):

- Carga de sólidos = **1.116 kgSS/d** (igual à carga afluenta à desidratação)
- Volume diário = carga / concentração = $(1.116 \text{ kgSS/d}) / (250 \text{ kgSS/m}^3) = \mathbf{4,5 \text{ m}^3/\text{d}}$

A produção per capita de lodo a ser disposto é:

Carga per capita de SS = $1.116 \text{ kgSS/d} / 50.000 \text{ hab} = 0,022 \text{ kgSS/hab.d} = 22 \text{ gSS/hab.d}$ (adequada, segundo as Tabelas 5.3 e 5.5)

Volume per capita de lodo = $4,5 \text{ m}^3/\text{d} / 50.000 \text{ hab} = 4.500 \text{ L/d} / 50.000 \text{ hab} = 0,09 \text{ L lodo/hab.d}$ (adequado, segundo as Tabelas 5.3 e 5.5)

5.11 BIBLIOGRAFIA

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Projeto de estações de tratamento de esgotos*. NBR-570. 1989.
- ALEM SOBRINHO, P; KATO, M. T. Análise Crítica do uso do Processo Anaeróbio para o Tratamento de Esgotos Sanitários. In: CAMPOS, J.R. (coordenador). *Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro, ABES, 1999. p. 301 - 20.
- CAMPOS, J.R. (coordenador). *Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro, ABES, 1999.
- CHARLESTON, L.O., ROBLES, A.N., BOHÓRQUEZ, S.S. (1996). Efectos de lodos activados de purga sobre el funcionamiento de un reactor UASB piloto y las características del lecho de lodo granular. In: *Anais, Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental*, 25. México, 3-7 Novembro 1996.

- COLETTI, F.J., POVINELLI, J., DANIEL, L. A. Pós-tratamento por lodos ativados de efluentes provenientes de processos anaeróbios de tratamento de esgoto sanitário; Determinação de constantes cinéticas. In: *Anais: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19, Foz do Iguaçu, ABES, Setembro 1997.
- COURA, M. A.; van HAANDEL, A. C. Viabilidade técnica e econômica do digestor anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) no sistema anaeróbio/aeróbio. In: *Anais: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 20, Rio de Janeiro, 1999. Rio de Janeiro, ABES, Maio 1999. p. 973-87.
- CYBIS, L. F. & PICKBRENNER, K. Uso de reatores sequenciais em batelada para pós-tratamento de efluentes de tratamento anaeróbio. In: *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2000, Porto Alegre. 2000.
- EPA, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati. *Manual. Nitrogen control*. Technology Transfer. 1993. 311 p.
- FREIRE, V. H.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. Avaliação do desempenho de um sistema combinado UASB – Lodos Ativados no tratamento de efluentes sanitários. In: *Anais: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 20, Rio de Janeiro, ABES, Maio 1999. p.905 – 12.
- JORDÃO, E.P., PESSOA, C.A. *Tratamento de esgotos domésticos*. ABES, 3ª ed, 1995. 681 pp.
- METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. Metcalf & Eddy, Inc. 3. ed, 1991. 1334 pp.
- PASSIG, F.H. ,VILELA, L.C.H., FERREIRA, O.P. (1999). ETE – Piracicamirim – nova concepção de sistema de tratamento de esgotos sanitários – partida, operação e monitoramento de desempenho. In: *Anais: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, Maio/99 (in Portuguese).
- SILVA, S.M.C.P da; ALÉM SOBRINHO, P.; Jr., A.S.G. Avaliação do sistema reator UASB e processo de lodos ativados para tratamento de esgotos sanitários com elevada parcela de contribuição industrial. In: *Anais: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 18, Salvador, Bahia, ABES, Setembro 1995.
- SOUZA, J.T., FORESTI, E.. Domestic sewage treatment in an upflow anaerobic sludge blanket - sequencing batch reactor system. *Water Science and Technology*, Vol. 33, No. 3, pp. 73-84, 1996.
- SOUZA, J.T.; FORESTI, E. Pós - tratamento de efluente pré - tratado anaerobicamente através de reator sequencial em batelada. In: *Anais: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19, Foz do Iguaçu, Setembro 1997. Rio de Janeiro, ABES, 1997. p. 180 - 6.
- VAN HAANDEL, A . C., MARAIS, G.v.R. (1999). *O comportamento do sistema de lodos ativados*.
- VON SPERLING, M. (1997). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 4. Lodos ativados*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 415 p.
- VON SPERLING, M., FREIRE, V.H., CHERNICHARO, C.A.L. (2000). Performance evaluation of an UASB – activated sludge system treating municipal wastewater. In: *1st World Water Congress of the International Water Association (IWA)*, Paris, 3-7 Julho 2000, Conference Preprint Book 4, pp. 94-100.
- WEF & ASCE. *Design of municipal wastewater treatment plants*. Water Environment Federation / American Society of Civil Engineers. 1992. 1592 pp.