

Relatório sobre as estações de tratamento de esgotos por lodos ativados de Brasília *

PROFESSOR G. V. R. MARAIS (**)

(*) Trabalho apresentado pela Companhia de Água e Esgotos de Brasília — Caesb, no VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Rio de Janeiro, Dezembro de 1975.

I. INTRODUÇÃO

A cidade de Brasília opera duas estações de tratamento de esgotos pelo processo de lodos ativados, uma atendendo à Asa Norte e outra à Asa Sul da cidade.

Os efluentes das estações são lançados em um lago artificial em forma de semi-arco acompanhando a cidade. O lago, portanto, constitui um aspecto essencial do ambiente da cidade. Esse aspecto vem sendo prejudicado pelos elementos eutróficos, fósforos e nitrogênio, que fluem para o lago através dos rios tributários, da drenagem das águas pluviais e dos efluentes das duas estações de tratamento. As porcentagens de contribuição pelas diversas fontes são:

Fontes	Fósforo		Nitrogênio	
	P kg/dia	%	N kg/dia	%
Rios	117	43	340	27
Águas pluviais	55	20	300	24
Estações	99	36	600	48
	271		1.240	

Os efluentes das estações de tratamento têm uma contribuição significativa, ou seja, 36% de fósforo e 48% de nitrogênio que entram no lago; a remoção de um ou dois contribuirá acentuadamente para a solução do problema de eutrofização do lago.

O autor deste trabalho foi convidado pela Companhia de Água e Esgotos de Brasília — Caesb, por meio da Companhia Estadual de

Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas de São Paulo — Cetesb, e do professor Azevedo Neto especificamente para:

1) inspecionar as estações existentes e fazer as recomendações para: (a) melhorar a eficiência de operação; e (b) modificar o processo biológico da estação para obter a remoção dos elementos eutróficos;

2) apresentar outras recomendações que poderão ajudar na redução de elementos eutróficos de outras fontes.

Este relatório trata dos dois aspectos indicados acima. A parte da solução proposta que trata da remoção biológica dos dois elementos eutróficos é ainda nova. Conseqüentemente, uma breve apresentação da teoria básica é fornecida como anexo deste relatório (Ver Apêndice I).

II. INSPEÇÃO DAS ESTAÇÕES

Dois inspeções na Estação Sul e uma na Estação Norte foram realizadas e o autor agradece a assistência valiosa do engenheiro Maury Couto no que diz respeito à história e ao comportamento operacional das estações sob diferentes condições.

As estações de tratamento de esgotos são do tipo convencional de lodos ativados com o influente provindo de um decantador primário. Cada estação tem uma capacidade de tratamento de 45 mil m³/dia, com uma capacidade máxima de 67 mil m³/dia. O "layout" das estações é mostrado na Figura 1. Cada estação consiste de 6 módulos que operam em paralelo em três pares. Cada módulo tem seis compartimentos

(**) Professor da Universidade da Cidade do Cabo, África do Sul. Consultor da Cetesb.

de aeração em série, aerados mecanicamente. O influente é distribuído igualmente entre os primeiros quatro compartimentos de cada módulo (aeração escalonada). O efluente de cada par de módulos passa para o decantador secundário, sendo um decantador para cada par. A razão de recirculação de lodo máxima é 0,5:1.

Os decantadores secundários da Estação Sul são um pouco diferentes da Estação Norte. Ambos são circulares. Contudo, na Estação Sul a descarga inferior de lodo é feita por carga hidráulica ao longo de um braço radial que gira junto ao fundo com cerca de uma revolução por hora. A Estação Norte utiliza raspadores convencionais de lodo com uma descarga central. A Estação Sul trata uma vazão maior e tem apresentado continuamente problemas desde o início da operação. Os problemas parecem ser devidos ao decantador secundário. O lodo sobe para a superfície e sai junto com o efluente clarificado. A perda de lodo é tão grande que tem sido impossível aumentar acima de 1.200 mg/l a concentração do MLSS no tanque de aeração. Contudo, se o lodo é retirado de forma a se obter uma concentração abaixo de 800 mg/l, o lodo não sobe mais à superfície nos decantadores secundários, porém a qualidade do efluente se deteriora.

Pode-se adiantar duas possíveis razões para o comportamento ineficiente dos decantadores secundários da Estação Sul.

1) Um cálculo teórico (ver seção III) indica que a idade do lodo é de dois a três dias. Três dias é a idade de lodo requerida para nitrificação a 20°C. Conseqüentemente poderá ter lugar a seguinte seqüência de eventos: a concentração do lodo no reator aumenta (isto é, a idade do lodo aumenta) até alcançar mais ou menos três dias (± 1.000 mg/l MLVSS). A nitrificação começa e a desnitrificação ocorre com liberação de bolhas de N_2 sob as condições anaeróbicas da camada de lodo nos decantadores secundários. O lodo bóia na superfície e perde-se com efluente clarificado. Essa hipótese é sustentada pela observação do efluente final que contém aproximadamente 0,5 mg/l NO_3-N . É muito provável que o influente do decantador contenha alta concentração de NO_3-N , que fica em parte reduzido na camada de lodo do decantador. A subida do lodo pode ser observada visualmente, de tal modo que placas de lodo se formem na superfície. Quando a camada de lodo é perturbada pelo aumento da vazão de entrada, as partículas de gás podem ser observadas subindo à superfície e formando uma espuma.

A melhoria da sedimentabilidade do lodo, quando a concentração do MLSS é reduzida a

cerca de 800 mg/l, pode então ser explicada. Nesse caso a idade do lodo precisa ser reduzida abaixo de dois — três dias. A nitrificação deixa de ocorrer e assim não há mais desnitrificação no decantador.

2) A descarga de lodo na Estação Sul é feita por processo ineficiente.

Na Estação Sul o método de coleta utiliza um braço rotativo que succiona hidráulicamente o lodo. Como conseqüência, a forma de fluxos não é simétrica e o lodo é revolvido tanto mais quanto maior for a razão de recirculação.

Na Estação Norte o lodo é raspado para o centro e retirado a partir desse ponto. Se a razão de recirculação de lodo aumenta, o lodo é dirigido por igual para o centro, enquanto na Estação Sul considerável porção sedimentará longe do braço de coleta. Os dois tipos de decantador são comparados na Figura 2 para ilustrar a diferença de funcionamento. É importante notar que a Estação Norte tem apresentado menos problemas de sedimentação do que a Estação Sul, provavelmente pelas razões indicadas.

3) A razão de recirculação é muito baixa.

Em geral se aceita que, quando se aumenta a razão de recirculação, a massa de lodo acumulada no decantador precisa aumentar também para permitir um adensamento adequado. Por exemplo, se o influente tem 1.000 mg/l MLSS, a concentração do lodo para $r=0,25$ e $r=1,0$ é respectivamente:

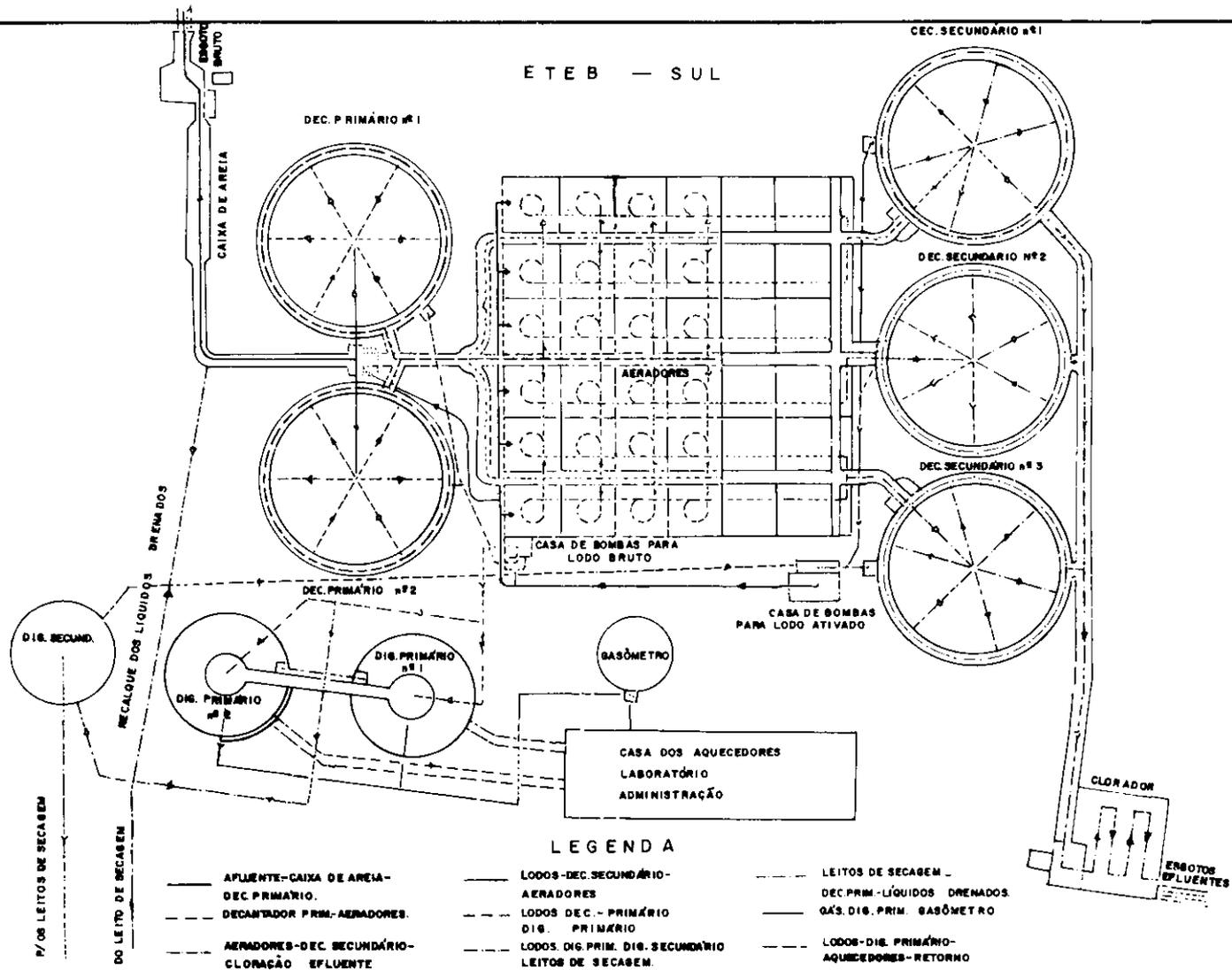
$$X_{ur} = 0,25 = \frac{1 + 0,25}{0,25} \cdot 1.000 = 5.000 \text{ mg/l}$$

$$X_{ur} = 1 = \frac{(1 + 1)}{1} \cdot 1.000 = 2.000 \text{ mg/l}$$

Para adensar o lodo a 5.000 mg/l é necessário um tempo de detenção maior na camada de lodo e uma massa de lodo também maior no decantador (ver Figura 3). É parcialmente por essa razão que na África do Sul se usa alta razão de recirculação (1 e 2). Mesmo que a nitrificação tenha ocorrido, o baixo tempo de detenção na camada de lodo reduz a perda de lodo por flotação e permite maior MLSS no reator.

Contudo, o engenheiro informou que tentou aumentar na Estação Sul a razão de recirculação de 0,25 para o máximo de 0,5, mas isto fez crescer a perda de lodo. Ele demonstrou este fato na estação aumentando a razão de recirculação. A turbulência em volta do ponto de entrada aumentou visualmente e grossas massas de lodo e espuma subiram à superfície. Naturalmente o efeito imediato é de

ETEB - SUL



LEGENDA

- | | | |
|---|--|--|
| — AFLENTE-CAIXA DE AREIA-
DEC. PRIMÁRIO. | — LODO-DEC. SECUNDÁRIO-
AERADORES | — LEITOS DE SECAGEM -
DEC. PRIM.-LÍQUIDOS DRENADOS. |
| — DECANTADOR PRIM.-AERADORES. | — LODO-DEC.- PRIMÁRIO
DIS. PRIMÁRIO | — GÁS. DIS. PRIM. GASÔMETRO |
| — AERADORES-DEC. SECUNDÁRIO-
CLORAZÃO EFLUENTE | — LODO- DIS. PRIM. DIS. SECUNDÁRIO
LEITOS DE SECAGEM. | — LODO- DIS. PRIMÁRIO-
AQUECEDORES-RETORNO |

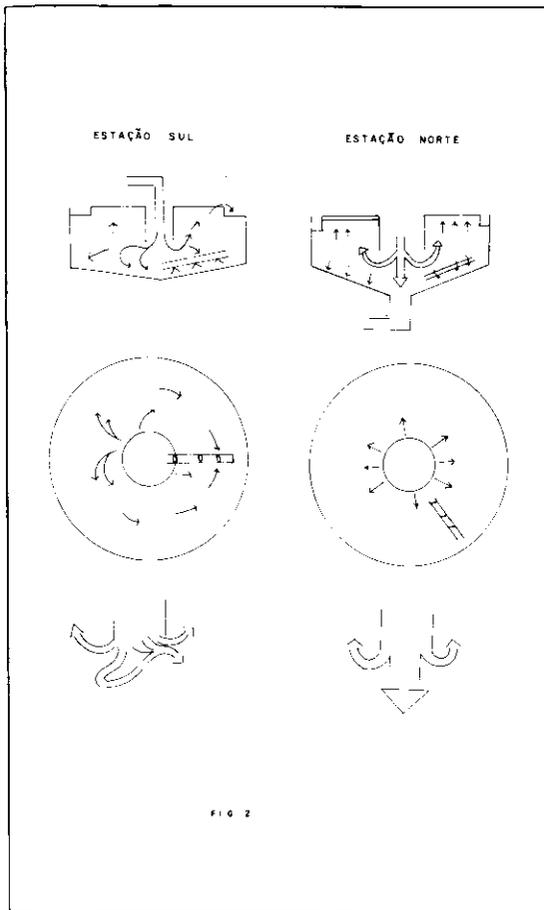
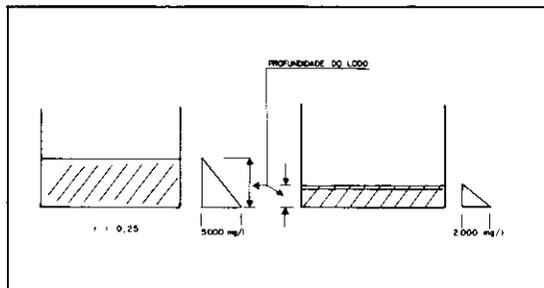


FIG. 2



vido à perturbação da massa de lodo formada sob operação "steady state" com $r=0,25$ anteriormente ao teste. Correta comparação somente seria possível depois de a estação funcionar com $r=0,5$ durante um dia. Contudo, o fluxo assimétrico observado anteriormente tornou-se mais pronunciado sob a razão de recirculação maior e isto por si pode levar a uma indevida acumulação de lodo fora do alcance momentâneo do braço radial. Infelizmente não houve disponibilidade de tempo para repetir o teste na Estação Norte.

III. MODIFICAÇÕES NAS ESTAÇÕES

As mudanças propostas abaixo têm em mira dois objetivos:

- 1) Remover os nutrientes N P.
 - 2) Melhorar a eficiência das estações.
 - a) Comportamento do processo existente: Antes de sugerir as mudanças no processo, é necessário analisar o seu comportamento atual para verificar se o comportamento teórico é consistente com o observado.
- Foram levantados os seguintes dados:

Tempo de detenção hidráulico	$R = 6h = 0,25$ dia
DBO no influente (decantado no primário)	$S_i = 180$ mg/l
Total N no influente	$N_i = 22$ mg/l $\{NH_4-N\}$
Total P	$= 8$ mg/l $\{PO_4-P\}$
MLSS	$= 1200$ mg/l
NO_3-N no efluente	$= 0,5$ mg/l
Temperatura da água	$= 20$ a $22^\circ C$

A partir destes dados é possível estimar a idade de lodo na estação como segue:

$$\begin{aligned}
 MLVSS &= 0,75 \text{ MLSS} \\
 &= 0,75 \times 1.200 \\
 &= 800 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

Por outro lado:

$$\begin{aligned}
 X_v &= X_a + X_e \\
 &= X_a (1 + 0,2 b R_s) \\
 &= Y \frac{(S_i - S)}{1 + b R_s} \cdot \frac{R_s}{R} (1 + 0,2 b R_s) \dots (L) \\
 (S_i - S) &= \text{influyente DBO} - S_i
 \end{aligned}$$

Expressando, então, S_i em termos de DQO biodegradável

- (1) S_i (em DQO) $= 2 \text{ DBO} = 2 \times 180 = 360$ mg/l DQO
- (2) $Y = 0,43$ mg VASS/mg/DQO
- (3) $b = 0,24$ dia⁻¹
- (4) $X_v = 800$ mg/l VSS

Na equação 1 acima, todos os parâmetros são conhecidos à exceção de R_s . Calculando-se X_v para uma série de valores de R_s até que X_v (observado) seja aproximadamente igual a X_v (calculado), verificamos que isso ocorre para $R_s = 1,9$

$$\begin{aligned}
 X_v &= \frac{0,43 \times 360}{1 + 0,24 \times 1,9} \times \frac{1,9}{0,25} (1 + 0,2 \times 0,24 \times 1,9) \\
 &= 834 \text{ mg/l} = 800 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

A idade do lodo provavelmente estará entre um e meio e três dias, dependendo da perda de lodo e do DQO do influente.

Teoricamente a idade de lodo mínima para nitrificação é dada por:

$$R_s \text{ min à temp. } T^\circ\text{C} = 3,0 (1,127)^{20-T}$$

Resumindo $T = 20^\circ\text{C}$ vem $R_s \text{ min} = 3$ dias.

A estação, portanto, está sendo operada teoricamente com idade de lodo igual ou imediatamente abaixo daquela necessária para nitrificação. Isso é verificado pelos dados do efluente da estação onde se observa 0,5 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$. Aumentando-se a idade do lodo, haverá um aumento correspondente de X_v e também uma completa nitrificação, o que resultará em intensa desnitrificação no decantador com maior perda de lodo no efluente. Levando em conta a desnitrificação, parece improvável que a estação possa estar sendo operada com idade do lodo maior de três dias. Portanto, a conclusão é que o modelo teórico explica adequadamente o comportamento atual da estação.

b) Projeto do processo de desnitrificação:

O objetivo de desnitrificação no projeto de processo é: (1) reduzir o nitrogênio a um valor tão baixo quanto possível; (2) melhorar a eficiência do decantador.

Concentração dos sólidos voláteis

O volume do reator necessário para a desnitrificação pode ser diminuído se a concentração de sólidos voláteis ativos (vivos) for alta. Por outro lado, a nitrificação exige idade do lodo maior que três dias a 20°C .

Na Estação Sul o tempo de detenção hidráulico R e o DQO do influente está fixado. Assim, a idade do lodo precisa ser selecionada para se ter um MLVSS da ordem de 3.000 mg/l ou 4.000 mg/l de MLSS. Podem-se usar maiores concentrações, até 5.000 mg/l de MLSS, porém na Estação Sul isso será difícil porque a razão de recirculação máxima do decantador secundário é 0,5:1. O lodo precisaria ser adensado para $4.000 \times 1,5 \div 0,5 = 12.000$ mg/l e a produção do lodo no reator será alta.

Se a razão de recirculação pudesse ser aumentada para 1:1, a concentração do lodo recirculado seria somente $2/1 \times 4.000 = 8.000$ mg/l.

Esses cálculos ilustram a grande importância de se ter alta recirculação do decantador secundário quando a concentração no reator for alta. Na verdade, até seria preferível uma razão de recirculação de 1,5:1.

Aceitando um MLVSS de cerca de 3.000 mg/l, diversos valores de R_s são substituídos na equação 1:

Para $R_s = 10$ dias

$$X_v = \frac{0,43 \times 360}{1 + 0,24 \times 10} \frac{10}{0,25} (1 + 0,2 \times 0,24 \times 10)$$

$$X_v = 2.880 \text{ mg/l}$$

Essa concentração é, portanto, satisfatória. A massa ativa é dada por:

$$X_a = \frac{Y(S_i - S)}{1 + b R_s} \cdot \frac{R_s}{R}$$

$$= \frac{0,43 \times 360}{1 + 0,24 \times 10}$$

$$= 1.945 \text{ mg/l MLVSS}$$

Nitrogênio disponível para nitrificação

$\text{NH}_3\text{-N}$ retirado do efluente para síntese AN é calculado por:

$$\text{AN} \cdot Q = \frac{0,1 (V_v \cdot V)}{R_s}$$

$$\text{Então, AN} = 0,1 X_v \frac{V}{Q} \frac{1}{R_s}$$

$$= 0,1 X_v \frac{R}{R_s}$$

$$= 0,1 \times 2.880 \times \frac{0,25}{10}$$

$$= 7,2 \text{ mg/l } \text{NH}_3\text{-N}$$

Nitrogênio disponível para nitrificação:

$$= 22 - 7,2$$

$$= 15 \text{ mg/l } \text{NH}_3\text{-N}$$

Assumindo completa nitrificação, o nitrato formado será:

$$15 \text{ mg/l } \text{NO}_3\text{-N}$$

Remoção do nitrogênio

Redução do $\text{NO}_3\text{-N}$ no reator anóxico primário

$$= 0,03 S_i \text{ mg/l}$$

$$= 0,03 \times 360 = 10,8 \text{ mg/l}$$

$\text{NO}_3\text{-N}$ a ser removido no reator anóxico secundário

$$= 15 - 10,8$$

$$= 4,2 \text{ mg/l}$$

Tempo de detenção mínimo no reator anóxico primário

$$R_{\text{min}} = \frac{S_o}{243.000} \times \frac{1}{K''} + \frac{0,03 - X_a}{243.000} \frac{S_o}{K' X_{la} a} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} K_a' &= 0,04 \text{ mg NO}_3\text{-N/mg MLAVSS/hora} \\ K_a'' &= 0,0046 \text{ mg N} - \text{N/mg MLAVSS/hora} \\ X_a &= 1.945 \text{ mg/l}; S_o = 360 \text{ mg/l de DQO} \end{aligned}$$

Substituindo na equação (2)

$$\begin{aligned} R_{\min} &= 0,32 + 0,14 - 0,04 = \\ &= 0,42 \text{ hora} \end{aligned}$$

Tempo de detenção mínimo no reator anóxico

$$\begin{aligned} &= \frac{AN}{K_{2a} X_a} \\ &= \frac{4,2}{0,0023 \times 1880} \\ &= 0,97 \text{ hora} \end{aligned}$$

Adaptação da estação

A figura 4 mostra o "layout" da estação com as modificações propostas. O primeiro compartimento de cada módulo é convertido em reator anóxico primário com um tempo de detenção nominal de uma hora.

(Seis compartimentos em série e seis horas como tempo de detenção nominal.) O tempo de detenção mínimo nominal é 0,42 hora, mas esse valor é baseado em condições médias de vazão e o tempo de detenção deve ser cerca de duas vezes o valor mínimo.

O 5.º compartimento deve ser convertido em reator anóxico secundário com uma hora de tempo de detenção.

A vazão total do influente deve ser levada ao 1.º compartimento. Do mesmo modo a recirculação total deve ser levada ao 1.º compartimento.

Recirculação

A razão de recirculação existente a partir do decantador secundário é 0,5:1 máximo; com esta recirculação somente $0,5 \div 1 + 0,5$ do nitrato existente no decantador é retornado pela recirculação ao compartimento anóxico primário.

Para se remover 10,8 mg/l NO₃-N estimado, no reator primário a recirculação mínima deve ser:

$$\begin{aligned} \frac{x}{1+x} \cdot 15 &= 10,8 \\ \text{ou } x &= 2,6 \end{aligned}$$

Assim, uma recirculação adicional de 2,1 mínima precisa ser providenciada. É conveniente obter uma recirculação total de 3:1.

A segunda recirculação deve ser feita a partir do 4.º compartimento ou do 5.º, preferivelmente do 4.º.

Para dar flexibilidade, a instalação de recirculação deve possibilitar ambas as alternativas. A concentração de O₂ no 4.º compartimento precisa ser mantida abaixo de 2 mg/l.

Se a recirculação for feita a partir do 4.º compartimento, a influência do O₂ do "mixed liquor" será menor no 5.º compartimento tornando anóxico, o qual poderá ser mais efetivo na redução dos 4,2 mg/l de NO₃-N remanescente.

Remoção de fosfato

Presentemente não é possível prever a extensão de remoção de fosfatos que pode ser esperada com as modificações da estação. Particularmente não se conhece muito sobre a sorte do fósforo derivado de detergentes duros. Na África do Sul virtualmente todos os detergentes são moles. A estação funcionará nesse caso como um estudo-piloto.

Demanda de oxigênio

Aumentando-se a idade do lodo para dez dias, será aumentada a demanda diária de oxigênio necessária para a matéria carbonácea.

Por outro lado, será necessário oxigênio para nitrificação, mas uma parte apreciável dessa demanda será recuperada por desnitrificação e pode ser estimada como segue:

Operação atual

$$\begin{aligned} X_v &= 834 \text{ mg/l VSS} \\ R_s &= 2 \text{ dias} \\ R &= 0,25 \text{ dia} \\ Q &= 45.000 \times 10^3 \text{ l/dia} \\ S_i - S &= 360 \text{ mg/l DQO} \end{aligned}$$

Assumindo nenhuma nitrificação estimando-se o valor do reator: de V

$$\begin{aligned} &= Q R \\ &= 45.000 \times 10^3 \times 0,25 \\ &= 11.250 \times 10^6 \text{ l} \\ \text{MO}_2(\text{Mg}) &= (S_i - S) Q \left[1,42 \frac{X_v V}{R_s} \dots (4) \right. \\ &= 360 \times 45.000 \times 10^3 \frac{1,42 \times 834 \times 11.250 \times 10^6}{2} \\ &= 16.200 \times 10^6 - 6.629 \times 10^6 \\ &= 9.571 \times 10^6 \text{ mg/d} \\ &= 9.571 \text{ kg O}_2/\text{dia} \end{aligned}$$

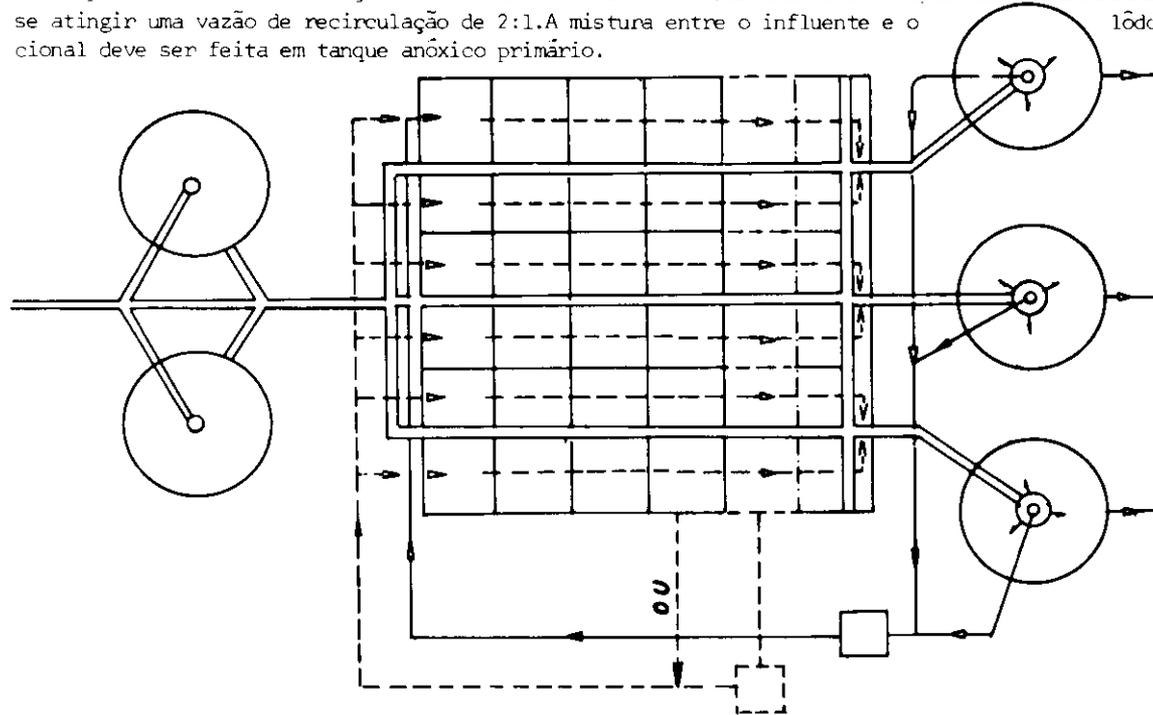
Nitrificação e desnitrificação

$$\begin{aligned} X_v &= 2.880 \text{ mg/l VSS} \\ R_s &= 10 \text{ dias} \\ R &= 0,25 \text{ dia} \\ Q &= 45.000 \times 10^3 \text{ l/dia} \\ (S_i - S) &= 360 \text{ mg/l DQO} \\ V &= 11.250 \times 10^3 \text{ l} \end{aligned}$$

Demanda carbonácea a partir de eq (4)

LAY OUT MODIFICADO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DA ASA SUL

- 1  Linhas cheias indicam o primeiro compartimento que precisa ser usado como tanque anóxico primário.
- 2  Linhas pontilhadas indicam o 5º compartimento utilizado como tanque anóxico secundário.
- 3  Linha cheia indica retorno do lodo ativado com capacidade máxima de recirculação, 50% da vazão (condições existentes).
- 4  Linha pontilhada a recirculação adicional de 5º (ou 4º) compartimento com capacidade de bombeamento, de 250% da vazão de projeto, para se atingir uma vazão de recirculação de 2:1. A mistura entre o influente e o lodo do decantador e da recirculação adicional deve ser feita em tanque anóxico primário.



- 5  Estação de bombeamento de lodo existente, 50% de recirculação.
- 6  Estação de bombeamento de lodo adicional com capacidade de 250% de recirculação.

Fig. 4

$$\text{NO}_2 \text{ (mg)} = 360 \times 45.000 \times 10^3 - \frac{1,42 \times 2880 \times 11250 \times 10^3}{10}$$

$$= 16.200 \times 10^6 - 4600 \times 10^6$$

$$= 11.600 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

Demanda para nitrificação e desnitrificação $\text{NH}_3\text{-N}$ líquido disponível para nitrificação já foi determinado:

$$N_{\text{liq}} = 15 \text{ mg/l}$$

$$M_{\text{oz}} \text{ (nitrificação)} = 4,6 N_{\text{liq}} \times Q$$

$$M_{\text{oz}} \text{ (desnitrificação)} = 2,8 N_{\text{liq}} \times Q$$

Portanto:

$$M_{\text{oz liq}} = (4,6 - 2,8) N_{\text{liq}} \times Q$$

$$= 1,8 N_{\text{liq}} Q$$

$$= 1,8 \times 15 \times 45.000 \times 10^3 \text{ mg}$$

$$= 1.215 \text{ kg}$$

Demanda diária de M_{oz} total:

$$= 11.600 + 1.215$$

$$= 12.815 \text{ kg O}_2/\text{dia}$$

Assumindo uma carga de pico de 1,5 vez, a demanda máxima de oxigênio durante o dia será:

NO_2/dia	máxima	(kgO_2/dia)
Existente		Modificado
14.356 (1)		19.222 (1,33)

Portanto, com a operação modificada será necessário 33% mais de O_2 em relação à atual demanda.

A maior demanda de oxigênio deverá levar em conta que dois compartimentos aeradores funcionarão apenas para manter a massa em suspensão (nos tanques anóxicos).

A relação de cargas nos aeradores antes e depois será:

$$1 : 1,33 - \frac{6}{4}$$

ou

$$1 : 2$$

Este cálculo mostra que os aeradores de operação modificada deverão suprir duas vezes mais O_2 do que na presente condição. Se esse aumento for maior que a capacidade dos aeradores, a vazão nominal para a estação deve ser reduzida na fase experimental.

Vazão de esgotos com águas pluviais

Conforme informação, a condição de vazão na rede durante tempo chuvoso aumenta até seis vezes a média. Aparentemente a razão é que muitos edifícios têm as águas de telhados e áreas dirigidas para a rede de esgotos.

Grandes picos de vazão através de estação causam um aumento na massa de lodos a ser separada nos decantadores. A velocidade as-

cedente aumenta acentuadamente e pode levar à perda de lodo junto com o efluente clarificado.

Se essa condição é frequente ou por um longo período, a eficiência da estação cairá. Há duas soluções possíveis:

1) Construção de tanque de regularização de vazão.

2) Eliminação de conexões de águas pluviais com rede de esgotos.

IV. ESTUDOS-PILOTOS

Estações de tratamento de esgotos de Brasília

As modificações das estações Norte e Sul envolverão despesa considerável. Para se obter uma ótima condição de operação, torna-se conveniente proceder a estudos-pilotos. Parece que a Estação Norte é a mais apropriada para se realizar tais estudos:

1) A estação não está ainda funcionando na máxima capacidade, de maneira que a carga em cada par de módulo poderá ser variada.

2) Os decantadores secundários têm sistema centrado para retirada de lodo, de modo que poderão funcionar melhor com maiores recirculações de lodo, provavelmente.

O seguinte estudo é recomendado:

1) Um par de módulos ligado a um decantador é escolhido para estudo.

2) As bombas de recalque do decantador são reforçadas para fornecer uma vazão de recirculação de 1 a 1,5:1 em relação à vazão de projeto.

3) É instalada uma recirculação a partir do 4.º compartimento, com capacidade de três vezes a vazão média normal de projeto.

4) O 1.º e o 5.º compartimentos são transformados em reatores anóxicos. Os pratos de aeração devem ser removidos e pratos mais profundos para remexer a massa devem ser instalados.

5) A vazão influente em cada par de módulos precisa ser regulada para valores usados neste relatório, ou seja: $45.000/3 = 15.000 \text{ m}^3/\text{dia}$ e influente DQO 360 mg/l.

A concentração de lodos deve poder subir a cerca de 4.000 mg/l MLSS para se ter a idade de lodo de dez dias.

As seguintes análises devem ser feitas para controle da operação-teste:

1) **Influente**
DQO, Kjeldhal Nitrogen, fósforo total no influente sedimentado e não filtrado.

2) **Conteúdo do tanque anóxico primário** (1.º compartimento) DQO, Kjeldhal, ($\text{NO}^3\text{-N}$) e fósforo total, todos no efluente filtrado.

3) 4.º compartimento
DQO, Kjeldhal N, (NO³-N), fósforo total, todos no efluente filtrado.
Mais OD.

4) Tanque anóxico secundário (5.º compartimento)
Idem a (2).

5) 6.º compartimento
Idem a (3) mais determinação de MLUSS.

Estudos em escala de laboratório e piloto na Cetesb, São Paulo

Simultaneamente e tão logo seja possível, estudos de laboratório e/ou piloto para desnitrificação e remoção de fósforo deveriam ser desenvolvidos nos laboratórios de pesquisa da Cetesb. Os dispositivos devem ser projetados com a necessária flexibilidade para configuração de processos e operação. Tais estudos fornecerão informações sobre as condições do processo para o Brasil.

Os estudos consomem tempo e requerem esforço e dedicação. Os pesquisadores nessa investigação precisam ser responsáveis, entusiastas e diligentes, bem como receber sustentação da instituição. De outra forma, pouco poderá ser conseguido.

Se a Cetesb decidir iniciar tal estudo, os detalhes poderão ser fornecidos posteriormente.

APÊNDICE I

INTRODUÇÃO

Este apêndice sumaria a teoria do processo de lodos ativados com nitrificação e desnitrificação. A teoria é extensamente analisada nos relatórios abaixo relacionados e que foram entregues à Caesb e Cetesb.

1) Processo de lodos ativados com altas idades de lodo.

2) O esgoto como doador de elétrons na desnitrificação biológica.

3) Experiências em escala normal nas novas estações de aeração prolongada de Joanesburgo.

4) Modificação de estações de aeração prolongada em Joanesburgo, África do Sul, para realizar desnitrificação.

CRITÉRIOS LARGAMENTE USADOS PARA PROJETO DE LODOS ATIVADOS

Bases largamente aceitas para projeto de processos de lodos ativados são as seguintes:

1) kg DBO/kg MLSS.

2) kg DBO/m³ de volume do tanque de aeração.

3) Tanque de sedimentação usado duplamente como separador de líquidos-sólidos e adensamento de sólidos (lodo).

Sob condições onde: (1) a nitrificação não é requerida e (2) as concentrações de DBO do influente são aproximadamente uniformes, essas bases para projeto são aceitáveis, segundo ilustram aplicações feitas nos EUA. A inclusão de um volume de aeração como base para projeto não deu a devida relevância para o tempo, enquanto está bem definido que o DBO desaparece em poucos minutos depois de entrar na câmara de aeração. O uso do tanque de sedimentação para separação da fase líquida e para espessamento do lodo requereu o retorno do lodo a uma taxa da ordem de 0,25 a 0,5. Isso resultou numa perda apreciável de lodo e longos tempos de detenção no tanque.

Pela adequada escolha de (1) e (2), outras designações foram usadas para o processo, como "alta taxa", convencional e aeração prolongada.

Quando os critérios foram aplicados em diversos países (1) com DBO do influente geralmente maior do que aquele aplicado na América (2) e com os níveis de temperatura mais alto, freqüentemente resultaram em estações (ETE) com grande dificuldade de operação, especialmente por causa da flutuação do lodo no tanque de sedimentação. Isso invariavelmente ocorreu quando tinha lugar uma nitrificação, fenômeno esse provavelmente peculiar a climas quentes.

Esses problemas conduziram a uma reavaliação dos (1) parâmetros de projeto e (2) função do tanque de sedimentação.

1) Pesquisas na América, na Inglaterra e em outros países estabeleceram que:

a) O parâmetro básico que governa o comportamento da aeração biológica é o número maior de vezes que os organismos retornam ao reator (tanque de aeração), ou seja, a **idade do lodo**. Como os organismos requerem um certo tempo para crescer (dependendo da concentração dos nutrientes que os circundam), a idade do lodo ficou sendo o que determina se a nitrificação se realizará ou não, e o tipo de organismo heterotróficos que se desenvolverá.

b) O valor de DQO (devido a sua estreita ligação com a energia por meio de O₂ necessário para "quebrar" as ligações H⁺) tornou-se o parâmetro preferido para avaliar o progresso de oxidação. Em conexão com a constante relação entre DQO e VSS (sólidos suspensos voláteis ou massa de organismos), que é DVO/VSS = 1,42 tornou-se desejável descrever e separar as

“energias” do influente como perda calorífica (demanda de O_2), incorporação na massa do lodo e no influente.

c) Quando tem lugar a nitrificação, o tanque de sedimentação não pode mais ser usado como dispositivo para adensar lodo porque o N_2 (gás) produzido causa a flotação do lodo. Com uma recirculação adequada de até 1:2, o lodo sedimentado tem um tempo de retenção menor no tanque de sedimentação, de maneira que não mais ocorre a flotação do lodo. Contudo, agora a vazão recirculada ficará tão diluída que não mais podia ser descarregada diretamente nos digestores. Uma vez estabelecida a importância da idade do lodo, o controle desse parâmetro tornou-se também importante. O método normal de controlar a concentração do lodo no reator e descartar o lodo a partir do fluxo recircular. Todavia, testes em estações de escala normal em Joanesburgo têm mostrado que a densidade do fluxo recirculado variava ciclicamente durante o dia, de modo que a massa retirada era mais ou menos indeterminada. Três módulos de estações operadas sob condições idênticas de carga do fluxo recirculado deram concentrações de lodo diferentes em até duas vezes (ver relatório anexo).

Nossos projetos agora adotam um sedimentador satélite com a massa requerida de lodo bombeada diretamente do reator.

A idade do lodo é facilmente fixada como segue: Suponha-se que a idade do lodo requerida é dez dias. Então, um volume igual a 1/10 do volume do reator é bombeado para fora cada dia e “descartado”. Assim, a idade do lodo é fixada e uma concentração “stady state” para o MLSS encontra seu próprio nível, o qual dependerá da carga de DQO que entra no sistema.

O uso da idade do lodo para projeto se faz da seguinte maneira (para maior detalhe, ver relatório):

1) Determine a fração biodegradável do DQO do influente (consideraremos somente o caso de esgoto sedimentado).

Para esgoto sedimentado:

$S_i = S_o - (0,05 \text{ a } 0,1) S_o$

ou $0,95 \text{ a } 0,9 S_o$

onde

S_o = concentração de DQO do influente (sedimentado).

S_i = fração biodegradável do influente em termos de concentração de DQO.

2) Determine a concentração de DQO biodegradável do efluente a partir de:

$$S = \frac{1}{\frac{R_s}{Y K} + b}$$

onde:

R_s = idade do lodo (dias)

b = respiração endógena = $0,24 \text{ dia}^{-1}$ a 20°C em outra temperatura corrigir para

$b_T = b_{20} (1029) (T - 20) \rightarrow (b_{20} = 0,24)$

Y = fator de crescimento celular

= $0,43 \text{ mg VASS/mg DQO utilizado}$ independente de temperatura (VASS = sólidos suspensos voláteis ativos ou vivos).

K = taxa de remoção de DQO = $0,07/\text{dia}$

3) Determine a massa de lodo/massa de CQO utilizada:

a) massa ativa em VSS

$$M_{x_a} = \frac{Y R_s}{1 + B R_s} (S_i - S) Q \text{ em mg}$$

onde Q = vazão em l/dia

$$= \frac{R_s M_{s_i}}{1 + b R_s}$$

$M_{s_i} = Q (S_i - S) =$ carga de DQO em mg/dia

b) Massa endogenada, a partir do resíduo deixado depois da respiração endógena:

$$M_{x_e} = 0,2 b R_s M_{x_a}$$

Assim

$$M_{x_v} = M_{x_a} + M_e$$

4) Determine o volume do reator. Ele depende da concentração dos sólidos voláteis requeridos no reator:

$$V = \frac{M_{x_v}}{X_v}$$

V = volume em litros

5) Determine a detenção (tempo de aeração):

$$R = \frac{V}{Q} \text{ dias}$$

Q em l/dia

DEMANDA DE OXIGÊNIO

Demanda de O_2 para a parte carbonácea

$$M_{O_2} = (S_i - S) Q - 1,42 \frac{M_{x_v}}{R_s}$$

Demanda de O_2 para nitrificação

O O_2 para nitrificação depende do NH_3-N disponível. O nitrogênio incorporado no lodo é aproximadamente 10% do VSS.

Assim:

$$M_{oxN} = 4,6 (NH_3 - N)_i - (NH_3 - N)_e \cdot Q - \frac{0,1 M_{xv}}{R_s}$$

i = de entrada
e = de saída

$$0,1 \frac{M_{xv}}{R_s} = \text{fração de nitrogênio no lodo descartado.}$$

Os valores citados representam valores médios diários. Durante a variação diária de vazão e de DQO, o pico de demanda de O₂ para nitrificação e oxidação carbonácea precisa ser ajustado, suplementando oxigênio quando se fizer necessário.

Para cálculo de O₂ máximo podemos usar a equação:

$$M_{O_2} \text{ max} = (S_i - S) \cdot Q \text{ max} (1 - 1,42 Y) + 1,42 \times 0,8 M_{xv} \text{ max}$$

em que se toma S_i max e Q max durante o dia.

Note-se que:

1) No procedimento de projeto o tempo de aeração acaba sendo uma consequência, ou seja, é incidental para a solução.

2) Para cada unidade de DQO que desaparece, uma certa massa se acumula no reator, sendo que essa massa é função apenas da idade do lodo.

3) O oxigênio necessário por dia é fornecido pela diferença entre o DQO que desaparece menos o DQO "descartado" no lodo por dia.

NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO BIOLÓGICA

NITRIFICAÇÃO

Para que ocorra a nitrificação há necessidade de ser mantida uma idade de lodo mínima.

Se o esgoto tem uma alcalinidade adequada, geralmente o R_s mínimo para a nitrificação é dado por

$$R_{s \text{ min}} = R_{20} (1,127)^{20-T}$$

Onde

$$R_{20} = 3 \text{ dias a } 20^\circ\text{C}$$

$$T = \text{Temperatura em } ^\circ\text{C}$$

Para garantir a nitrificação é adotado um

$$R_{s \text{ min}} = 6 \text{ dias a } 20^\circ\text{C}$$

Se a alcalinidade é baixa, em regiões com água mole, o pH cai muito pouco com a nitrificação, R_s min aumenta consideravelmente e a nitrificação não se completa. Entretanto, estes fatores não influenciam se aplicarmos a desnitrificação.

DESNITRIFICAÇÃO

NO₃ ocupa a mesma posição do O₂ na

teoria do lodo ativado. A diferença é em questões de ponto de vista.

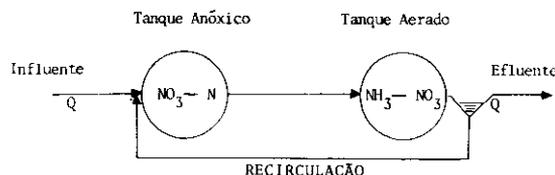
No lodo ativado, a energia é fornecida por meio da DQO e é necessário determinar as necessidades de O₂. Na desnitrificação o O₂ equivalente em forma de NO₃ está no líquido e é necessário determinar quanta energia precisa ser fornecida.

Os organismos sempre utilizarão O₂ se ele estiver presente, em vez de NO₃, porque a quantidade de energia disponível para síntese é levemente favorável ao O₂. Entretanto, se não se dispõe de O₂, os organismos irão utilizar NO₃.

Somente uma fração dos organismos pode utilizar NO₃ como aceptor hidrogênio (± 10 — 30% dos organismos).

Portanto, se uma DQO igual a 100 é introduzida no lodo, somente cerca de 10 — 30% de DQO é absorvida pelos organismos desnitrificantes, isto é, há uma absorção competitiva entre os organismos nitrificantes e outros. Conseqüentemente, a energia disponível para os nitrificadores é limitada, se o esgoto é utilizado como fonte de energia.

O processo para utilizar a energia que vem junto com o esgoto é o seguinte:



No reator anóxico NO₃ é reduzido para N utilizando-se a DQO influente como fonte de energia.

No reator aeróbico NH₃ é oxidado para NO₃. Pela recirculação do NO₃ para o reator anóxico uma parte do NO₃ é reduzida.

Se a recirculação é baixa, digamos 50%, somente uma pequena fração do fluxo será desnitrificada. A recirculação é aumentada até que toda energia disponível para a redução NO₃ seja usada.

A redução ocorre em dois estágios:

$$\Delta NO_3 = K' XaR_1' + K'' XaR_1''$$

$$R = \text{tempo de detenção nominal} \frac{V}{Q}$$

A primeira reação é controlada para um tempo de detenção bastante pequeno, e o segundo maior. Em ambos os termos, o máximo NO₃ que pode ser reduzido é dado por:

$$\Delta NO_3 = 0,03 S_0 \text{ (mg/l) (NO}_3\text{-N)}$$

onde S₀ = DQO influente

Por exemplo, se a DQO influente é 600 mg/l, 18 mg/l — NO₃-N podem ser eliminados no primeiro reator.

Agora, se o $\text{NH}_3\text{-N}$ influente é cerca de 40 mg/l

1) O $\text{NH}_3\text{-N}$ necessário para síntese é

$$\Delta N_{\text{ síntese}} = Q \frac{MX_v}{R_s} \cdot 0,1$$

$$\Delta N_{\text{ síntese}} = \frac{Y(S_i - S)}{1 + b R_s} (1 + 0,2 b R_s) \frac{R_s}{R} \cdot \frac{0,1}{R_s} \frac{V}{Q}$$

$$= \frac{Y(S_i - S)}{1 + b R_s} (1 + 0,2 b R_s) 0,1$$

Assim, o N disponível para nitrificação é:

$$N_{\text{ disponível}} = N_{\text{ inf.}} - \Delta N_{\text{ sint.}}$$

$$\Delta N_{\text{ sint.}} = 10 \text{ mg/l N}$$

Portanto,

$$N_{\text{ disponível}} = N_{\text{ inf.}} - \Delta N_{\text{ sint.}}$$

$$= 40 - 10$$

$$N_{\text{ removido por desnitrificação}} = 18$$

$$\text{NO}_3 - N_{\text{ restante}} = 40 - 10 - 18$$

$$= 12 \text{ mg/l}$$

Como 1/2 é removido pelo reator anóxico primário, uma recirculação de 1:1 será suficiente para remover todo o NO_3 possível no reator anóxico primário.

Para remover o resto do nitrato é necessário um reator secundário. Este reator opera baseado na energia fornecida pela respiração endógena.

A taxa de remoção, portanto, depende da taxa de respiração endógena e da absorção competitiva dessa energia pelos organismos desnitrificantes:

$$K_2 = \frac{N_2}{K_2 R_2 X_a} \text{ VASS}$$

$$12 = 0,0023 = \frac{X_a \cdot R_a}{12} \text{ mg NO}_3 - \text{N}$$

$$R_a = \frac{0,0023 X_a}{0,0023 X_a}$$

E o processo se assemelha ao que segue na folha 25.

A recirculação pode ser tanto de 3 quanto de 2 para a remoção de nitratos. A recirculação de 3 é recomendável.

Sugere-se a recirculação a partir de 2.

A taxa de recirculação dos reatores 2 ou 3 constitui-se ainda numa incerteza.

A recirculação do 2 é suficiente geralmente, mas aqui outra vez uma recirculação mais alta também aumenta a remoção de P. Esse aspecto da remoção de P ainda se encontra em estudos, não tendo sido estabelecido um mecanismo explicável.

REMOÇÃO DE FOSFATO

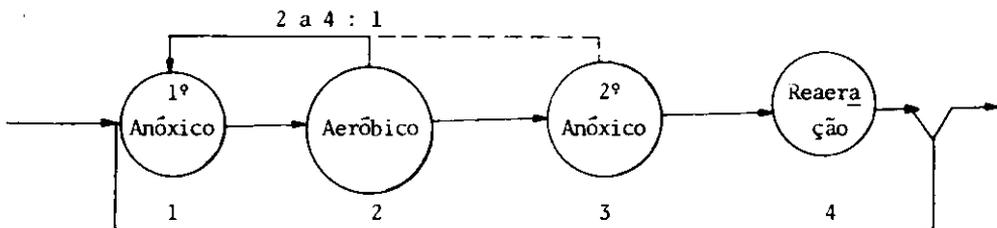
Pesquisas sobre a cinética da remoção do fosfato estão ainda em desenvolvimento e, portanto, sem completa explicação. Geralmente está estabelecido que a remoção de fosfato ocorre, virtualmente na totalidade, nas principais câmaras de aeração que recebem o efluente do reator anóxico primário. O reator anóxico secundário parece não ter nenhuma influência, isto é, nenhum fósforo adicional é removido nos reatores 3 e 4.

No reator anóxico primário P é liberado sob condições anóxicas (sem O_2 , porém, não sépticas) e rapidamente absorvido, tão logo entra no ambiente aerado do principal aerador. Parece que se trata de uma reação de energia, uma vez que a reação não pode realizar-se sob baixa condição de energia do reator de re-aeração final n.º 4.

Atualmente o reator primário anóxico tem um tempo de detenção nominal duas a três vezes maior que o requerido para remoção do NO_3 (± 1 hora). Recirculação de 1:1 do tanque de sedimentação e de 2:1 do tanque de aeração principal é normalmente usada. Recirculação ótima não foi ainda determinada. Com uma idade do lodo de quinze dias $X_v = 3.000$ mg/l. DQO influente = 600 mg/l ($\text{PO}_4 - \text{P}$) influente = 16 mg/l e recirculação total 3:1 aproximadamente 11 mg são removidos.

O lodo descartado contém uma alta fração de fósforo. Se o lodo é digerido, o sobrenadante do digestor não deve retornar ao sistema quando o fósforo no digestor está dissolvido, porque aumentaria a carga de fósforo no sistema.

O sobrenadante precisa ser tratado com cal para precipitar o fósforo antes de retornar ao sistema.



1 : 1