

## II-129 - SIMPLIFICAÇÃO DA MATRIZ DE PETERSEN PARA TOMADA DE DECISÃO COMO UTILIZAÇÃO EM SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS

**Da Silva. Rosângela Maria** <sup>(1)</sup>

Técnica em Meio Ambiente pelo Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia (IFCE)-campus Maracanaú. Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE - campus Limoeiro do Norte. Mestranda em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo IFCE- campus Fortaleza

**Damasceno. Danikelly Silva** <sup>(2)</sup>

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE - campus Limoeiro do Norte. Mestranda em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

**Glória Maria Marinho Silva Sampaio** <sup>(3)</sup>

Graduada em Farmácia pela Universidade Federal do Ceará – UFC (1990), Mestrado em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (2001) e Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP (2005).

**Heraldo Antunes Silva Filho** <sup>(4)</sup>

Graduado em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (2006), Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, área de concentração em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Campina Grande (2009), Doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Estevão Remígio, 1145 – Centro – Limoeiro do Norte – CE – CEP: 62930-000 - Brasil - Tel: (88) 3447-6400 - e-mail: [rosangela\\_ifce@hotmail.com](mailto:rosangela_ifce@hotmail.com)

### RESUMO

Vários estudos são desenvolvidos para escolher o melhor sistema de tratamento que remova tanto matéria orgânica como nitrogênio. O processo de lodo ativado é muito utilizado para o tratamento de efluentes biodegradáveis industriais e domésticos, assim também por ser um sistema que se distingue dos demais, devido à remoção não só do nutriente nitrogênio como também do fósforo. Porém, para dispor deste sistema deve ser considerado a mão-de-obra qualificada e o alto custo com aeração devido ao tratamento, sempre deve-se considerar otimizar o projeto. Dessa forma, visando contribuir para a escolha pelo sistema de lodo ativado como forma de tratamento esta pesquisa busca simplificar os modelos cinéticos da oxidação da matéria orgânica e o processo da nitrificação em sistemas de lodo ativado, utilizando o modelo da teoria descrita por Van Haandel e Marais (1999), com base no modelo “Activated Sludge Models” (ASM1) da International Water Association (IWA), usando como forma de organização e exposição de dados a Matriz descrita por Petersen (2003) para auxílio na tomada de decisão e projetos otimizados de sistemas de lodo ativado que vislumbrem uso da cinética como parâmetros de projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelo Simplificado, ASM1, Matriz de Petersen, Lodos Ativados.

### INTRODUÇÃO

Os sistemas de lodos ativados são os principais sistemas de tratamento biológico, por apresentarem uma ótima remoção de poluentes, como matéria orgânica e nutrientes (Nitrogênio e Fósforo). Os sistemas de lodos ativados possuem variantes como, os sistemas contínuos que compõem de um ou mais reatores, com agitação e seguido de um decantador secundário (VAN HAANDEL E MARAIS, 1999). Alguns dos principais sistemas convencionais de lodos ativados são: Phoredox, Bardenpho e o sistema UCT. Outra variante do sistema de lodo ativado são os sistemas intermitentes, mais conhecidos como Reatores em Bateladas Sequenciais (RBS), onde em apenas um reator ocorre todo o tratamento do efluente.

Apesar do sistema de lodo ativado apresentar bons resultados na remoção de poluentes, esses sistemas são de difícil operação, apresentam altos gastos na operação dos sistemas e necessitam de mão de obra especializada, tudo isso contribui para que muitas concessionárias não opinem por não utilizarem os sistemas de lodo ativado. Para ajudar nos projetos e operação dos sistemas de lodo ativado, foram criados os modelos cinéticos.

Os modelos cinéticos têm como objetivo promover o desenvolvimento de estudos no âmbito da modelação matemática para a concepção e operação de sistemas de tratamento biológicos de águas residuárias (POMBO, 2010). A partir dessa concepção de modelos, surgiram os Activated Sludge Models (ASM) que são: ASM1, ASM2, ASM2d e o ASM3.

Esses modelos são tabelados em matrizes, onde são apresentados os principais processos que ocorrem em um sistema de lodo ativado, que são: remoção de matéria orgânica, nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação.

Determinar todos esses processos é uma tarefa muito difícil, por isso este trabalho tem como objetivo simplificar um modelo matemático descrito por Van Haandel e Marais, (1999), utilizando a matriz de Petersen segundo o modelo matemático ASM1.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho serão apresentadas a matriz de Petersen utilizada no modelo de sistemas de lodos ativados ASM1 e como se realizou a simplificação do modelo simplificado ASM1.

Segundo (Henze et al., 1987), o modelo ASM1 foi desenvolvido para ser utilizado e aplicado em sistemas de lodos ativados na oxidação da matéria orgânica, nitrificação e desnitrificação, onde a matriz deste modelo inclui 13 componentes de caracterização das águas residuárias e compõem 8 processos biológicos. Na figura 1 mostrará a Matriz de Petersen para o modelo ASM1.

Processos (i)	Componentes (j)												Taxa do processo (p <sub>i</sub> ) (ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> )
	S <sub>i</sub>	S <sub>o</sub>	X <sub>i</sub>	X <sub>o</sub>	X <sub>am</sub>	X <sub>an</sub>	X <sub>p</sub>	S <sub>o</sub>	S <sub>no</sub>	S <sub>pe</sub>	S <sub>po</sub>	X <sub>no</sub>	
1 Crescimento aeróbio da biomassa heterotrófica	$-\frac{1}{Y_H}$				1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{NH}$		$\frac{i_{NH}}{14}$	p <sub>1</sub>
2 Crescimento anóxico da biomassa heterotrófica	$-\frac{1}{Y_H}$				1					$-i_{AN}$		$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2,86 \cdot Y_H} \cdot \frac{i_{AN}}{14}$	p <sub>2</sub>
3 Crescimento aeróbio da biomassa autotrófica						1		$-\frac{4,57-Y_A}{Y_A}$	$-\frac{1}{Y_A}$	$-i_{NA}$	$-\frac{1}{Y_A}$	$-\frac{2}{14 \cdot Y_H} \cdot \frac{i_{NH}}{14}$	p <sub>3</sub>
4 Decaimento da biomassa heterotrófica			$1-f_r$	-1			f <sub>r</sub>					$i_{NH}-f_r \cdot i_{NP}$	p <sub>4</sub>
5 Decaimento da biomassa autotrófica			$1-f_r$			-1	f <sub>r</sub>					$i_{AN}-f_r \cdot i_{AP}$	p <sub>5</sub>
6 Amonificação do azoto orgânico solúvel									1	-1		$\frac{1}{14}$	p <sub>6</sub>
7 Hidrólise da matéria orgânica particulada	1			-1									p <sub>7</sub>
8 Hidrólise do azoto orgânico										1	-1		p <sub>8</sub>
Taxas de conversão observadas (ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> )	$P_i = \sum_{j=1}^n \Psi_{ij} P_j$												

Figura 1: Matriz de Petersen para o modelo ASM1 (Adaptado de: Henze et al., 1987)

Fonte: POMBO, 2010

Para cada processo existem componentes que auxiliam na determinação dos processos. No fim da Matriz encontra-se a as equações que deverão ser utilizadas na determinação dos processos envolvidos.

Para fazer a determinação de todos esses parâmetros se faz um conhecimento muito abrangente e de difícil determinação, por isso esta pesquisa simplificou o modelo, diminuindo seus processos. Na figura 2 mostrará como ficou a simplificação do modelo na Matriz.

Processo (i)	Componentes (j)													Taxa do processo ( $\rho_i$ ) (ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> )
	S <sub>i</sub>	S <sub>s</sub>	X <sub>i</sub>	X <sub>s</sub>	X <sub>BH</sub>	X <sub>GA</sub>	X <sub>P</sub>	S <sub>O</sub>	S <sub>NO</sub>	S <sub>NH</sub>	S <sub>ND</sub>	X <sub>ND</sub>	S <sub>ALK</sub>	
1 Crescimento aeróbio da biomassa heterotrófica		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\rho_1$
2 Crescimento anóxico da biomassa heterotrófica		$-\frac{1}{Y_H}$			1					$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2,86 \cdot Y_H} - \frac{i_{XB}}{14}$	$\rho_2$
3 Crescimento aeróbio da biomassa autotrófica						1		$-\frac{4,57-Y_A}{Y_A}$	$-\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$			$-\frac{2}{14 \cdot Y_H} - \frac{i_{XB}}{14}$	$\rho_3$
4 Decaimento da biomassa heterotrófica				$1-f_p$	-1		$f_p$					$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$		$\rho_4$
5 Decaimento da biomassa autotrófica				$1-f_p$		-1	$f_p$					$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$		$\rho_5$
6 Amonificação do azoto orgânico solúvel										1	-1		$\frac{1}{14}$	$\rho_6$
7 Hidrólise da matéria orgânica particulada		1		-1										$\rho_7$
8 Hidrólise do azoto orgânico											1	-1		$\rho_8$
Taxas de conversão observadas (ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> )	$\rho_i = \sum_{j=1}^n \psi_{ij} \rho_j$													

Figura 2: Matriz de Peterson para o modelo simplificado.

A Composição da matriz será apenas com os processos de crescimento e decaimento de bactérias, utilizando o modelo ASM1. A modificação que será feita destacará as bactérias presente no lodo biológico e que são as bactérias heterotróficas e autotróficas nitrificantes.

Para poder montar a Matriz primeiramente devem-se utilizar tabelas que auxiliem na montagem, essas tabelas devem conter os parâmetros que serão utilizados. Nessa tabela devem-se conter informações como, por exemplo: se os valores serão estimados ou assumidos, valores de projetos e as equações necessárias. Na *figura 3* está exposto como deve ser a tabela auxiliar que será utilizada nesta pesquisa.

Parâmetro ou constante a ser analisada	Símbolo	Nome	Tipo	Assumir?	Estimar?	Projeto	Equações necessárias
	$R_s$	Idade do Lodo	C	Sim	Não	Não	$\frac{Vr}{q}$

Se for um componente, constante cinética ou tem relação estequiométrica.

Se o valor for estimado

Nome do parâmetro ou constante

Se o valor for assumido

Se o valor for de projeto

Descrição das equações que forem necessárias

\*C: Componentes

**Figura 3: Descrição de como deve ser a tabela auxiliar.**

#### Modelo Descrito por Van Haandel

A cinética do metabolismo do material orgânico do afluente ocorre através da velocidade com que os diferentes processos ocorram no sistema de lodo ativado. O modelo cinético dos microrganismos mais conhecido foi desenvolvido por Monod (1948), onde é descrito a fermentação de açúcares de uvas por culturas puras e leveduras. O Modelo se resume em (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

1- A taxa de crescimento de microrganismos é proporcional à taxa de metabolismo do substrato pelos microrganismos (equação 1):

$$r_c = \frac{(dX)}{(dt) u} = Y r_c = - Y \frac{(dS)}{(dt) c} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$r_c$  = taxa de crescimento de microrganismos;

$X$  = concentração de microrganismos;

$S$  = concentração do substrato;

$Y$  = fator de crescimento do lodo;

$u, c$  são índices que se referem à utilização e ao crescimento respectivamente.

1- A taxa de utilização do substrato depende da concentração desse substrato da seguinte maneira (Equação 2):

$$r_u = \frac{K_m S}{(S + K_s)} X \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$r_u$  = taxa de utilização do substrato;

$K_m S$  = constante de utilização específica máxima do substrato pelo lodo;

$K_s$  = constante de meia saturação.

Combinando as duas equações anteriores, tem-se que (equação 3):

$$\frac{(dX)}{(dt)_c} = \frac{Y.KmS}{(S+Ks)X}$$

$$\frac{(dX)}{(dt)_c} = \frac{\mu mS}{(S+Ks)X}$$

Equação (3)

Onde:

$\mu m$  = taxa de crescimento específica máxima de microrganismos.

Segundo PORTO (2007), o crescimento bacteriano é função da disponibilidade de substrato no meio, e quando o substrato se apresenta em baixa concentração, a taxa de crescimento é proporcionalmente reduzida.

Marais e Ekama (1976) sugerem que a taxa de utilização do material orgânico e a taxa de crescimento de lodo devem ser medidos através da determinação da taxa de consumo de oxigênio (TCO) relacionada com essa utilização (Equação 4):

$$TCO = (1 - f_{cv}Y)ru$$

Equação (4)

Como a taxa de crescimento de lodo é ligada diretamente a taxa de utilização tem-se (Equação 5):

$$r_c = Y_h \cdot r_c = \frac{Y_h}{(1 - f_{cv}Y)TCO_u}$$

Equação (5)

sendo:

$TCO_u$  = Utilização da Taxa de consumo de oxigênio

$Y_h$  = coeficiente de crescimento das heterotróficas

$f_{cv}$  = fração de lodo ativo decaído que se torna resíduo endógeno

## RESULTADOS

### SIMPLIFICAÇÃO DA MATRIZ DE PETERSON E TABELAS AUXILIARES

Para a elaboração da matriz é necessário que se faça o conhecimento de quais parâmetros devem ser utilizados. Se forem valores que devem ser assumidos, estimados ou mesmo se são valores estequiométricos ou se é um processo cinético. Por isso é importante que haja tabelas que auxiliem na compreensão da formação da matriz. Na tabela 1 estão expostos os parâmetros e as informações necessárias para que se possam entender quais os parâmetros que irão auxiliar na construção da matriz.

**Tabela 1: Tabela auxiliar com a caracterização dos parâmetros e componentes.**

Símbolo	Nome	Tipo	Assumir?	Estimar?	Projeto	Equações necessárias
DQO	Demanda química de oxigênio	C	Não	Sim	Não	
Xa	Concentração ativa do lodo	C	Não	Não	Sim	$\frac{(1 - f_{us} - f_{up}) * YR_s}{(1 + b_h R_s) * \theta_{ta} / R_h}$
Q	Vazão	C	Não	Não	Sim	
TCO	Taxa de consumo de oxigênio	PC	Não	Sim	Não	
V	Volume do reator	C	Não	Não	Sim	
Rs	Idade de lodo	C	Sim	Não	Não	$\frac{V_r}{q}$
Y	Coefficiente de crescimento do lodo	RE	Não	Sim	Não	0,45mgSVS/mgDQO
Bh	Constante de decaimento de lodo ativo	PC	Não	Sim	Não	$0,24 * 1,04^{(t-20)}$
T	Temperatura	C	Não	Sim	Não	
OD	Oxigênio dissolvido	C	Não	Sim	Não	
$\mu_m$	Taxa de crescimento máximo de microrganismos	PC	Não	Sim	Não	$\mu_{max}(s/(s+K_s))$
Kms	Taxa específica de utilização de substrato	PC	Não	Sim	Não	
Kss	Constante de meia saturação	PC	Não	Sim	Não	$\frac{TCO_{max}}{2}$

C: Componentes; RE: Relação estequiométrica; PC: Processo Cinético.

Essa tabela auxilia na compreensão de parâmetros que são de extrema importância na construção e operação de um sistema de lodo ativado. Nela é possível identificar quais os parâmetros que são estimados, assumidos, de projeto. Alguns desses parâmetros já obtêm valores descritos em literaturas e outros são preciso de equações para o auxílio da determinação dos mesmos.

Após a compreensão da tabela auxiliar, é possível que haja a simplificação e a montagem da matriz seguindo o modelo simplificado de Van Haandel.



	Componentes	Xa	Xn	Cr	Kss	bh	bn	Kn	Rs	Taxas de processos
Processos	Crescimento heterotrófico	$\frac{CrSba}{Rh}$		$\frac{YRs}{(1 + bhRs)}$	$\frac{TCOmax}{2}$				$\frac{Vr}{q}$	$rc = \left( \frac{YhKmsXaSbs}{Sbs + Kss} \right)$
	Decaimento heterotrófico					$0,24 * 1,04(t - 20)$				$rd = -bhXa$
	Crescimento autotrófico		$\frac{YnRsNc}{(1 + bnRs)Rh}$					$\frac{TCOmax}{2}$		$rc = rnYn = \mu Xn = \mu m$
	Decaimento autotrófico						$0,04(1,03)(t - 20)$			$rd = -bnXn$

A simplificação da matriz ocorre para que mesmo pessoas fora da área de conhecimento possam operar sistemas de lodos ativados e que seja uma forma mais simples de compreensão, pois aborda todos os processos cinéticos necessários tanto para o crescimento e decaimento das bactérias autotróficas responsáveis pelo processo de nitrificação e as bactérias heterotróficas responsáveis pelo processo da remoção da matéria orgânica.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A simplificação modelo cinético da Matriz de Petersen utilizando o modelo simplificado de Van Haandel e Marais (1999) junto com suas tabelas auxiliares mostrou-se uma ferramenta muito importante para tomadas de decisão de projetos e operação para sistemas de tratamento de lodos ativados, isso devido ser uma forma mais simples de compreensão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EKAMA, G. A.; DOLD, P.L. e MARAIS, G.v.R. Procedures for determining influent COD fraction and the maximum specific growth rate of heterotrophy in activated sludge system. Water Science and Technology, 18(6), pp 91-114.1986
2. HENZE M., GRADY C.P.L., GUJER W., MARAIS G.V.R., MATSUO T. (1987). Activated sludge model No. 1. IAWQ Scientific and Technical Report No. 1, London.
3. PORTO, A. L. Uso da Respirometria para Caracterização da Atividade Metabólica de Bactérias Heterotróficas. 2007. 77f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
4. POMBO, S.C.M.A. Contributo para a Utilização de Modelos de Simulação Dinâmica no Dimensionamento de Processos de Lamas Activadas. 2010. 233f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.
5. VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicação para projetos e operações. Campina Grande – PB: Epgraf. 5, 1999.