

# COMBINAÇÃO DE TRATAMENTO ANAERÓBIO E AERÓBIO COM A FINALIDADE DE ELIMINAÇÃO DE NUTRIENTES

Heike Hoffmann\*, Christoph Platzer\*\*, Dorothee Heppeler\*\*\*,  
Matthias Barjenbruch\*\*\*, Paulo Belli Filho\*

**Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SCBrasil**

- \* UFSC  
88010-970 Florianópolis, Trindade, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Caixa postal 478, Campus Universitário,  
Telefone: (048) 331-9597 Fax: (048) 331-9823
- \*\* COBAS – Consultoria Brasil –Alemanha de Saneamento Ltda., Brazil
- \*\*\* Universidade de Rostock, Alemanha,  
18050 Rostock, Universitaet, Insitut KTSW, Satower Strasse 48
- 

**Heike Hoffmann:** Bióloga, Universidade Greifswald, Alemanha, Doutorado, Universidade Rostock, Alemanha, Bolsista DAAD de Pós-doutorado UFSC

e-mail: [hho24@web.de](mailto:hho24@web.de)

88051-01 Florianópolis, Bairro Sambaqui, Rua das Ostras 281 Telefone: (048) 335-0030

**Christoph Platzer:** Engenheiro Sanitarista Universidade Hannover, Alemanha, Doutor pela Universidade Berlim, Alemanha, Consultor Cobas

e-mail: [chr@cobas.com.br](mailto:chr@cobas.com.br)

**Dorothee Heppeler:** Engenheira Sanitarista Universidade Rostock, Alemanha

e-mail: [dheppeler@web.de](mailto:dheppeler@web.de)

**Matthias Barjenbruch:** Engenheiro Sanitarista Universidade Hannover, Alemanha, Doutor pela Universidade Hannover, Alemanha, Professor junior de Universidade Rostock

e-mail: [matthias.barjenbruch@auf.uni-rostock.de](mailto:matthias.barjenbruch@auf.uni-rostock.de)

**Paulo Belli Filho:** Engenheiro Sanitarista UFSC, Mestre em Hidráulica Saneamento UFSCAR, Doutor pela Universidade Rennes, França, Professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC

e-mail: [belli@ens.ufsc.br](mailto:belli@ens.ufsc.br)

# COMBINAÇÃO DE TRATAMENTO ANAERÓBIO E AERÓBIO COM A FINALIDADE DE ELIMINAÇÃO DE NUTRIENTES

## OBJETIVO DO TRABALHO

Nos últimos anos a importância do tratamento de esgoto está aumentando cada vez mais. Por causa de uma série de vantagens decisivas o tratamento anaeróbio está sendo preferido em vez de um tratamento aeróbio. Na área do tratamento anaeróbio existem muitas experiências práticas e uma boa pesquisa fundamental (LETTINGA, HAANDEL, 1994). Reatores anaeróbios são sistemas simples e econômicos na construção, com poucos equipamentos, que apresentam uma manutenção simples e por final produzem uma baixa quantidade de lodo de excesso. Reatores e lagoas anaeróbios realizam uma remoção de DQO de 60-70 % (LETTINGA & HAANDEL, 1994).

Embora dos problemas específicos em alguns reatores (i.ex. perda periódica de lodo) o tratamento anaeróbio deixa uma elevada concentração restante do DQO, altas concentrações de germes e não pode se realizar a remoção de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo). Os nutrientes de esgotos são responsáveis para uma série de problemas de eutrofização de corpos receptores. O problema de remoção de nutrientes somente pode ser resolvido por um tratamento aeróbio de esgoto com uma combinação dos processos de nitrificação e desnitrificação bem como a biodesfosforação. O interesse no tratamento aeróbio como forma de tratamento única cresceu bastante na área de esgoto doméstico. Mas por causa de vantagens de tratamento anaeróbio nas países tropicais uma combinação de tratamento anaeróbio para a remoção de DQO com um pós-tratamento aeróbio para a remoção de nutrientes parece mais econômico. Infelizmente faltam ainda experiências de dimensionamento para a remoção de nutrientes após um tratamento anaeróbio. Isso e os custos de investimento impedem até agora o uso generalizado do processo na prática.

O trabalho apresenta resultados sobre a composição do esgoto antes e depois diferentes tipos de tratamento anaeróbio (UASB; RALF, Lagoa, Fossa) na escala real em relação à avaliação das possibilidades de remoção de nutrientes. Os dados servem como base de cálculo dos custos de diferentes tipos de pós-tratamento aeróbio (Lodo ativado, filtro percolador, wetland). No contexto de custos especialmente a questão de desnitrificação precisará uma boa avaliação entre as necessidades reais de meio ambiente (tamanho e qualidade dos rios) e possibilidades técnicas e financeiros.

O projeto de pesquisa foi realizado em conjunto com uma universidade alemã para combinar experiências brasileiras de tratamento anaeróbio com as experiências alemãs a respeito da remoção de nutrientes. O cálculo econômico comparativo foi feito com custos típicos de investimento de estações de tratamento de esgotos no Brasil de projetos em escala real.

## METODOLOGIA UTILIZADA

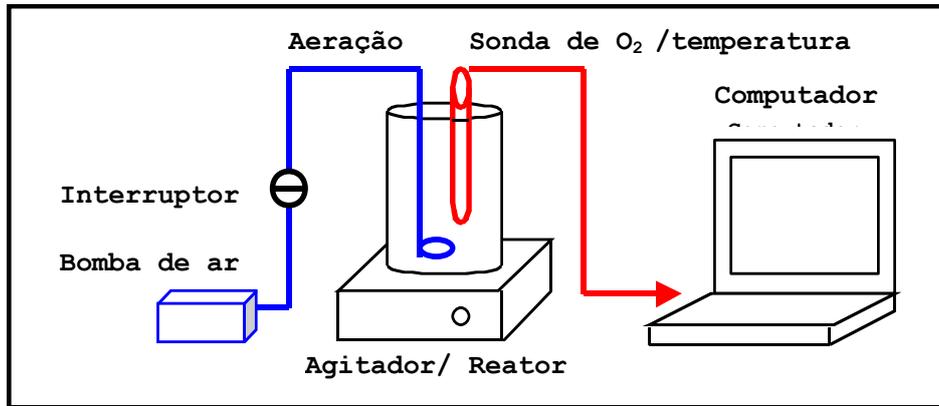
Esgotos brutos e efluentes final de tratamento anaeróbio das seguintes estações foram analisados:

- Esgoto de um UASB (1.000 hab., alta carga, tempo de detenção 3,5 h)
- Esgoto de um RALF (10.000 hab., baixa carga, tempo de detenção 12 h)
- Esgoto de uma lagoa anaeróbia (84.000 hab., tempo de retenção 18 d)
- Esgoto de uma fossa (Campo da Universidade, tempo de retenção 3 d)

Embora de concentrações de DQO e DBO, e de nutrientes (NTK,  $P_{total}$ ,  $PO_4-P$ ;  $NH_4-N$  e  $NO_3-N$ ) uma série de análises foi feita para uma melhor caracterização da composição do esgoto e da capacidade metabólica depois um tratamento anaeróbio.

- Com o objetivo de **fracionar o DQO** duas diferentes metodologias foram usadas.
  - Teste aeróbio para fracionar o DQO ou teste de consumo de oxigênio (segundo MARAIS & EKAMA, 1976). O resultado consiste em uma parte específica de DQO, a parte do DQO facilmente degradável =  $DQO_{fdeg}$

- Teste anóxico para fracionar o DQO ou teste de consumo de nitrato (segundo HULSBEEK, 1995). O resultado consiste em uma parte específica do DQO, a parte do DQO disponível para a desnitrificação =  $DQO_{disDN}$



Esquema 1: Organização de material para determinação de consumo de oxigênio

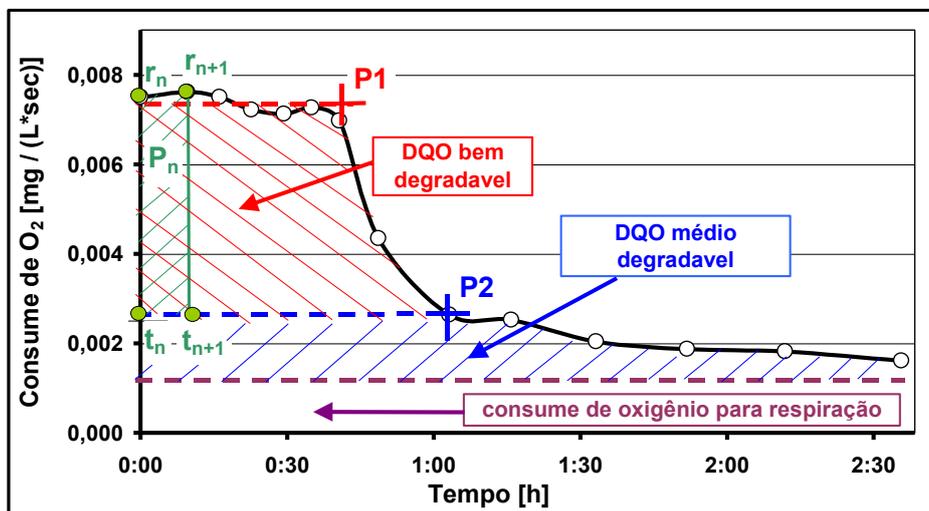


Figure 1: Exemplo para o teste de consumo de oxigênio com um esgoto bruto

- Para a avaliação da **capacidade de nitrificação**, o processo mais sensível contra efeitos tóxicos, foi comparada a atividade e a velocidade de nitrificação antes e após um tratamento anaeróbio.

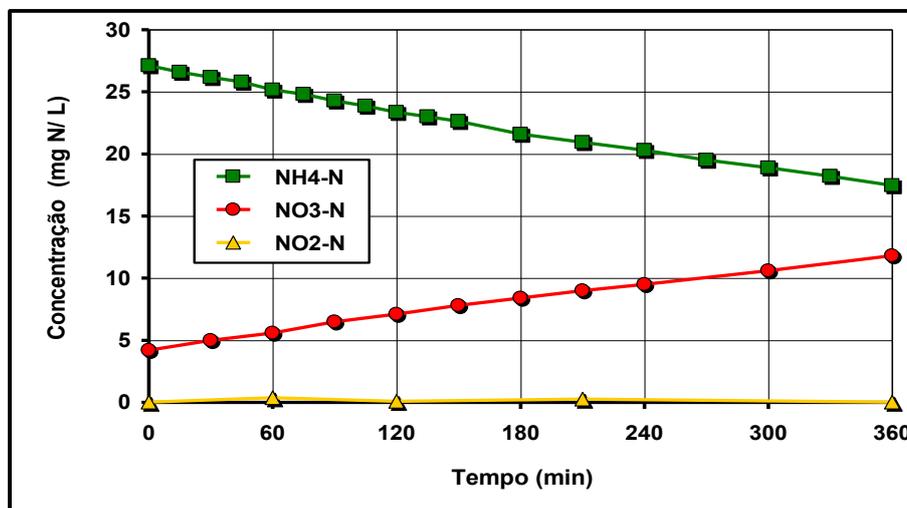
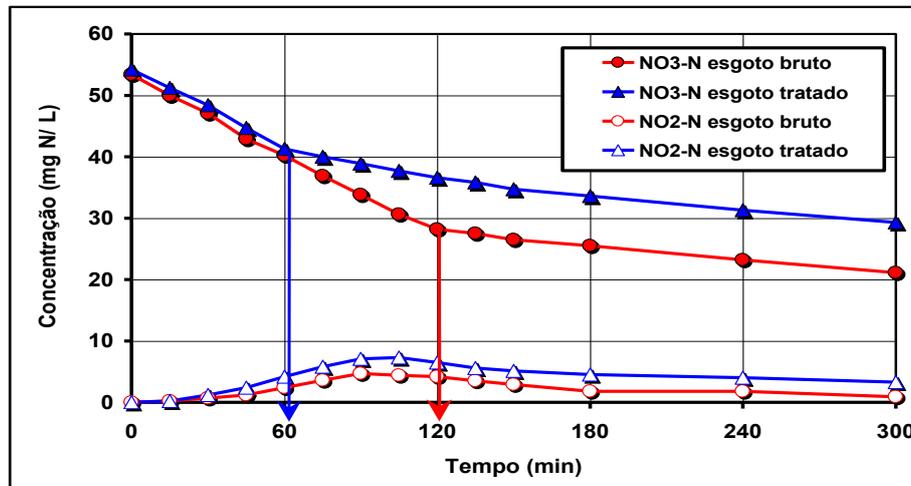


Figure 2: Exemplo para um teste para determinar a velocidade da nitrificação

- O Processo de desnitrificação é influenciado negativamente pelo tratamento anaeróbio, pois o substrato bem degradável é removido. Foi comparado a a **capacidade de desnitrificação**, a atividade e a velocidade de desnitrificação antes e após um tratamento anaeróbio.



**Figura 3: Exemplo para consumo de Nitrato esgoto bruto e esgoto tratado anaeróbio**

Todas as análises foram feitas em “batch” (reatores de 2 litros) no laboratório, sob condições constantes de 20°C. Foi usado sempre o lodo ativado da mesma estação (ETE Insular de Florianópolis), que possui o processo de nitrificação e desnitrificação.

Os custos de investimento e os custos operacionais foram elaborados na base de experiências projetos para ETE’s de 5 cidades (15.000-50.000 habitantes) em Santa Catarina. Para efeito de cálculo comparativo os custos foram transformados para uma estação teórica de 20.000 habitantes. A comparação foi feita de um sistema de lodo ativado convencional (aceração prolongada) sendo este comparado com uma combinação de tratamento anaeróbio e aeróbio na forma de:

- UASB com filtro percolador
- UASB com filtro de areia plantado (wetland de fluxo vertical)
- UASB e lodo ativado fluxo contínuo.

## RESULTADOS OBTIDOS

### As análises de esgotos antes e após de tratamento anaeróbio

Esgotos brutos e esgotos após um tratamento anaeróbio foram analisados durante 3 meses (tabela 1).

**Table 1: Resultados do testes de diferentes sistemas**

Tipo de tratamento análise	Lagoa anaeróbia		UASB		RALF		Fossa	
	Infl.	Efl.	Infl	Efl	Infl.	Efl.	Infl.	Efl.
DQO (mg/l)	379	250	699	164	372	267	720	465
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	<b>218</b>	<b>78</b>	<b>504</b>	<b>88</b>	<b>188</b>	<b>78</b>	<b>442</b>	<b>240</b>
NTK (mg/l)	48	45	66	61	53	48	22	20
DQO <sub>facdeg</sub> (mg/l) teste aeróbio	35	7	12	6	54	26	94	90
<b>COD<sub>disDN</sub> (mg/l) teste anóxico</b>	<b>120</b>	<b>30</b>	<b>75</b>	<b>36</b>	<b>158</b>	<b>33</b>	<b>280</b>	<b>200</b>
Velocid. Nitrificação (mgN/gTSS/h)	0,29	0,35	0,44	0,35	0,24	0,24	0,31	0,27
Velocid. Desnitrific.(mg N/gTSS/h)	1,36	0,87	0,69	0,59	1,44	1,01	1,62	1,46

**A remoção de DQO** nas estações anaeróbias analisadas fica na faixa de 30-75% e **a remoção de DBO<sub>5</sub>** na faixa de 45-80%. Comparando com a literatura (HAANDEL & LETTINGA, 1994) a eficiência dos reatores com baixa carga (RALF, Lagoa anaeróbia) é muito baixa.

**O teste de consumo de oxigênio**, que é muito comum para a avaliação da degradabilidade orgânica produziu resultados na faixa internacional já publicado com os esgotos brutos mas se mostrou impossível de ser usado nas investigações com esgoto anaeróbio tratado, pois os resultados são muito baixos

- A parte do DQO facilmente degradável do esgoto bruto fica na faixa de 10 a 15%, isso corresponde a valores normais (MARAIS & EKAMA, 1976). Somente o influente do U-ASB tem um valor muito baixo (2%) provavelmente efeito de um tempo de detenção na rede muito curto ou uma influencia de esgotos industriais.
- A parte do DQO facilmente degradável do esgoto anaeróbiamente tratado o depende muito do sistema. Os sistemas com baixa carga (lagoa e RALF) tem a remoção alta da parte bem degradável do DQO, deixam um restante de 3 a 4 % do DQO facilmente degradável em relação ao DQO total. O UASB com uma altíssima carga, apresenta ainda 10% do DQO total no final do processo como DQO facilmente degradável. A Fossa (quase sem atividade biológica ) apresenta uma quantia de 20%

**Os testes do consumo de Nitrato** com objetivo de determinar o parte do DQO facilmente degradável ou mesmo assim o parte do DQO disponível para a remoção de Nitrato (desnitrificação) resultaram com esgotos brutos e com esgotos tratados anaeróbios em resultados muito mais altos de que o teste de consumo de oxigênio.

- A parte do DQO disponível para a desnitrificação do esgoto bruto fica na faixa de 30 a 40% (UASB mais baixo com 10%)
- Depois de um tratamento anaeróbio nos reatores de baixa carga (lagoa e RALF) a parte do DQO disponível para a desnitrificação foi diminuído por 75 a 80%, e no reator UASB (alta carga) por 50%, a fossa reduz a parte de DQO disponível para a desnitrificação somente por 30%. A velocidade de desnitrificação diminua após o tratamento anaeróbio. Comparado com esgoto bruto o efluente do RALF e da lagoa anaeróbia somente atinge 65-70% da velocidade máxima, enquanto os efluentes do UASB e de fossa ainda chegam a 85-90%.
- Apesar de todas as diferenças entre a eficiência dos reatores, a relação de COD<sub>disDN</sub> para o DBO<sub>5</sub> dos esgotos tratados anaeróbios sempre chegou em 40%. (na saída da fossa 83% de DBO<sub>5</sub> foi disponível para a desnitrificação)

**Os testes da nitrificação** não mostram nenhuma inibição depois um tratamento anaeróbio, a velocidade de nitrificação de esgoto bruto e esgoto tratado fica na mesma faixa.

### **Os custos de investimento e de operação**

Os custos de investimento e de operação da combinação de sistemas estão sendo comparados com o sistema de lodo ativado de tipo aeração prolongada como única etapa de tratamento. A tabela 2 mostra os resultados de calculo dos custos de investimento.

O sistema de lodo ativado como sistema único fica 35% mais caro do que os outros sistemas com uma combinação do tratamento anaeróbio e aeróbio, pois precisa muito mais volume. Os custos de investimento dos outros sistemas ficam na mesma faixa com um leve vantagem da combinação do UASB com o filtro percolador. Os custos de combinação UASB com wetland dependem muito do local. Mais uma vantagem de combinação especialmente com wetland ou filtro percolador que não pode considerar em custos consiste em a construção e operação simples. Essa vantagem é importante para o funcionalmente e os custos operacionais na tabela 3. Com certeza os custos para a operação difere bastante entre regiões, por isso nos usamos alguns dados de operação, como a produção de lodo

especifica ou do consumo de energia ou o numero de operadores necessários. Os custos por manter o equipamento técnico são calculados com 2% por ano dos custos do investimento do equipamento técnico.

**Table 2: Comparação dos custos de investimento de 4 alternativas de tratamento (R\$)**

	<b>Lodo Ativado</b>	<b>UASB+ lodo ativado</b>	<b>UASB+ filtro percolador</b>	<b>UASB+ wetland</b>
<b>Obras civís</b>	957.715	644.638	829.459	927.421
<b>Instalações</b>	254.134	268.931	236.262	381.003
<b>Equipamentos</b>	796.698	555.400	396.446	222.533
<b>Urbanização, projeto paisagístico</b>	88.572	83.285	84.332	81.127
<b>Custos de investimento</b>	<b>2.097.117</b>	<b>1.552.253</b>	<b>1.546.499</b>	<b>1.612.083</b>
<b>Custos por habitante</b>	<b>104,90</b>	<b>77,60</b>	<b>77,30</b>	<b>80,60</b>

**Table 3: Comparação dos custos operacionais de 4 alternativas de tratamento (R\$)**

	<b>Lodo Ativado</b>	<b>UASB+ lodo ativado</b>	<b>UASB+ filtro percol.</b>	<b>UASB+ wetland</b>
Consumo de energia (kWh/p·hab, ano)	36	16	3	0,5
Produção de lodo (kg/p·hab, ano) *	13,1	8,1	8,1	5,9
Numero de operadores	2,5	3,5	2,5	2,3
<b>Custos operacionais/ano (R\$)</b>	<b>166.480</b>	<b>96.158</b>	<b>42.945</b>	<b>26.960</b>
<b>Custos por habitante/ano (R\$)</b>	<b>8,30</b>	<b>4,80</b>	<b>2,30</b>	<b>1,30</b>
<i>* 30% redução pelo usa de leito de mineralização de lodo</i>				

A combinação de sistema de UASB com wetland fica mais barata na operação por causa do baixo consumo de energia, do baixo investimento com equipamento técnico e da baixa produção de lodo. A combinação do UASB com lodo ativado faz sentido quando uma remoção de Nitrato (desnitrificação) é necessária, pois as combinações de sistemas mais econômicos, o UASB com filtro percolador o ou wetland não tem a capacidade de uma desnitrificação controlada.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Com o objetivo geral desse trabalho de avaliar as possibilidades de remoção de nutrientes depois um tratamento anaeróbio e recomendar uma metodologia que facilita a determinação parte de resto de DQO usável para a remoção de nutrientes depois um tratamento anaeróbio, o teste de consumo de nitrato se mostrou muito mais confiáveis, sendo possível de usar os resultados diretamente para a dimensionamento do tratamento aeróbio após um tratamento anaeróbio. Melhor ainda parece o resultado, que depois de cada tratamento a relação de DQO disponível para a desnitrificação sempre alcançou 40% do DBO<sub>5</sub>. Isso precisa uma avaliação com mais outros reatores mas poderia futuramente facilitar a dimensionamento para a desnitrificação depois um tratamento anaeróbio. Um outro caminho de mais investigações será a avaliação de carga orgânica de reatores, pois o reator com a alta carga (nos ensaios foi o UASB) mostrou melhores condições para uma desnitrificação porque tirou menos material orgânica.

Em todos os aspetos investigados, quais são os custos, a estabilidade de operação, o consumo de energia, a remoção de nutrientes e outros, o sistema de lodo ativado como única etapa de tratamento mostra-se não recomendável comparado com os sistemas combinados.

As análises de composição de esgoto foram feito pela primeira vez no Brasil e mostraram que não todos testes podem ser usados para a avaliação de esgoto anaeróbiamente tratado o, mas foi

encontrado uma boa relação entre o  $DBO_5$  e a parte do DQO disponível para desnitrificação, mas esta deve ser comprovada em outros sistemas no futuro. Os resultados mostraram que para a realização de uma desnitrificação após um tratamento anaeróbio precisa se de uma adição de uma fonte externa de carbono (esgoto bruto) ou seria interessante de investigar a efetividade do tratamento anaeróbio em escala real ou semi real. Os sistemas anaeróbios com alta carga e tempos curtos de detenção podem ser muito mais apropriado para um pós-tratamento aeróbio com o aspecto da desnitrificação.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISSE, M. M.; LOBATO, M.; BONA A.; GARBOSSA, L.; ALÉM SOBRINHO, P. (2001): Avaliação do sistema reator UASB e Filtro Biológico para o Tratamento de Esgoto Sanitário In: Proceedings 21 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- ANA, 2001 Agência Nacional de Águas: Programa Nacional de Despoluição de Bacias Hidrográficas – Despoluir para Salvar”, Manual de Operações, Versão 2001.1, [http://www.ana.gov.br/DOCS/ANA\\_PNDBH\\_20011.pdf](http://www.ana.gov.br/DOCS/ANA_PNDBH_20011.pdf), Brasília 2001
- BORNEMANN, C.; LONDONG, J.; FREUND, M.; NOWAK, O.; OTTERPOHL, R.; ROLFS, TH. (1998): Hinweise zur dynamischen Simulation von Belebungsanlagen mit dem Belebtschlammmodell Nr. 1 der IAWQ; Korrespondenz Abwasser Jg. 45, Nr.3, S. 455-462, 1998
- CONAMA (1986): Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução N°20, de 18 de junho de 1986, <http://www.mmagov.br/port/CONAMA/res/res86/res2086.html>
- CONSEMA-SC (1981): Conselho do Meio Ambiente de Santa Catarina, Coletânea da Legislação Ambiental de Santa Catarina, Decreto N°14.250, de 05 de junho de 1981, <http://www.cs.gov.br/webfatma/coletanea/Colesta%20.zip>
- DORIAS, B. (1996): Stickstoffelimination mit Tropflörpern, Dissertation Universität Stuttgart, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 138, Oldenburg Verlag München, 1996
- GONÇALVES, R.F.; DE ARAÚJO, V.L.; BOF, V.B. (1999): Combining upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors and submerged aerated biofilters for secondary domestic wastewater treatment, Wat.Sci.Techn., Vol.40, No. 8, pp.71-79
- HAANDEL, A.C. VAN; LETTINGA, G. (1994): Anaerobic sewage treatment : a practical guide for regions with hot clima, John Wiley & Sons Ltd, England, 1994
- HOFFMANN, H. (2000): Nutzungspotentiale durch externe Anzüchtung von Nitrifikanten im Prozesswasser der Schlammmentwässerung, gwf Wasser Abwasser, 141, 7/2000, pp. 440-446
- HULSBEEK, J. (1995): Bestimmung von Parametern zur Beschreibung der Prozesse bei der biologischen Stickstoff- und Phosphorentfernung in Abwasserreinigungsanlagen, Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, H. 90
- MARAI, G. EKAMA, G. (1976): The activated sludge process Part I – steady state behavior, Water SA, 2, No. 5-6, pp.164-200
- PLATZER C.; BURKARD T.; LAUER J. (1999) unpublished consultancy projects of engineering company COBAS for 5 cities in Santa Catarina
- SPERLING M. VON; DE CASTRO GALVÃO JÚNIOR, A.; DE CARVALHO MAGALHÃES, C. A.; MORENO, J.; CHERNICHARO, C.A.; GARIGLIO L.P. (2001) Conversão de uma ETE em escala real, construída segundo o processo de aeração prolongada, para o sistema UASB – Lodos ativados. In: Proceedings 21 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.