

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 09/11/2017.



Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Programa Interunidades



Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

MARIA BEATRIZ DE O. COELHO PEREIRA

TRATAMENTO DE ÁGUA NEGRA EM REATOR UASB

ORIENTADOR: Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA

CO-ORIENTADORA: Dra. ADRIANA FERREIRA MALUF BRAGA

Bauru
2016

MARIA BEATRIZ DE OLIVEIRA COELHO PEREIRA

TRATAMENTO DE ÁGUA NEGRA EM REATOR UASB

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru, da Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Saneamento Ambiental, Engenharia Civil e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Gustavo H. Ribeiro da Silva

Co-orientadora: Dra. Adriana Ferreira Maluf Braga

Bauru

2016

Pereira, Maria Beatriz de Oliveira Coelho.
Tratamento de água negra em reator UASB / Maria
Beatriz de Oliveira Coelho Pereira, 2016
95 f.

Orientador: Gustavo Henrique Ribeiro da Silva
Co-orientadora: Adriana Ferreira Maluf Braga

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2010

1. Reator UASB. 2. Água negra simulada. 3.
Atividade metanogênica. I. Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARIA BEATRIZ DE OLIVEIRA COELHO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA.

Aos 09 dias do mês de novembro do ano de 2016, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB/videoconferência, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Profª Drª PAULA LOUREIRO PAULO do(a) Faculdade de Engenharias, Arquitetura e urbanismo e Geografia - FAENG / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Prof. Dr. FERNANDO GONZALEZ FERMOSO do(a) Instituto de la Grasa, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARIA BEATRIZ DE OLIVEIRA COELHO, intitulada **TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ÁGUA NEGRA: EFEITO DOS METAIS TRAÇO E MONITORAMENTO EM ESCALA PILOTO**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA

GRMS

Profª Drª PAULA LOUREIRO PAULO

Paula Loureiro Paulo

Prof. Dr. FERNANDO GONZALEZ FERMOSO

p/ GRMS



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru



PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA:
MARIA BEATRIZ DE OLIVEIRA COELHO

DE: "TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ÁGUA NEGRA: EFEITO DOS METAIS TRAÇO E MONITORAMENTO EM ESCALA PILOTO"

PARA:

TRATAMENTO DE ÁGUA NEGRA EM REATOR VASO

Bauru, 09 de novembro de 2016.


Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA
Orientador

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu a oportunidade de vir a existir quando todos os médicos disseram que minha mãe nunca poderia ter filhos. A Ele que sempre cuidou de mim, que preparou todas as coisas para que eu pudesse estudar e hoje estar realizando mais este sonho. Que sempre esteve comigo nos momentos mais difíceis, que me ajudou, capacitou, sem Ele jamais teria conseguido chegar até aqui. E neste mês me deu ainda mais um presente, um milagre em minha vida.

Aos meus pais Marta e Edson Coelho que sempre batalharam muito, minha mãe que sempre fez questão de que estudássemos, sempre me incentivou a não parar. Meu pai que pagou meus estudos durante minha trajetória debaixo de muito suor e dedicação.

À meu esposo Daniel Orloviki Pereira pelo apoio, incentivo, amparo, meu eterno namorado e amigo. À minha irmã Marcelle Coelho, minha amiga, companheira, minha incentivadora.

Aos meus tios que sempre me incentivaram e apoiaram, Oséias, Meire, Cida, Neide, Paulo, Nicola, Emília, Miriam.

Aos meus primos sempre amigos.

Ao meu orientador professor Dr. Gustavo Ribeiro pela ajuda, orientação, incentivo, apoio. À minha co-orientadora Dra. Adriana Maluf Braga que muito me ajudou, me ensinando desde a fazer análises no laboratório, na elaboração de planilha até na discussão de resultados. Ao professor Dr. Luiz Antônio Daniel da USP de São Carlos, pelo apoio junto a pesquisa. Ao Dr. Fernando Feroso da Espanha que muito colaborou para a realização desta pesquisa como também na discussão dos resultados.

Ao LPB – Laboratório de Processos Biológicos da USP de São Carlos, que me permitiu realizar análises e experimentos que foram muito importantes ao desenvolvimento desta dissertação. As técnicas Carolina Sabatini e Maria Ângela Adorno (Janja) pelo apoio e ajuda junto as minhas análises. Ao Rodrigo Carneiro doutorando que me auxiliou e demais pesquisadores do LPB que me ajudaram direta ou indiretamente.

Ao Laboratório LATAR da USP São Carlos e a técnica Tereza pelo apoio junto as análises como também a toda a equipe de pesquisadores que trabalharam no revezamento do monitoramento do reator UASB na cidade de São Carlos.

Ao Laboratório de análise de águas residuárias da UNESP de Bauru e o Técnico Glauco Perpetuo pelo apoio junto as análises. Como também os funcionários Rafael e Elieni do DAE de Bauru que me ajudaram junto as análises.

À CAPES por ter financiado meu projeto de pesquisa, através da concessão de uma bolsa de mestrado. À FAPESP que ajudou no custeio da pesquisa. A Estação de Tratamento de Esgoto Monjolinho de São Carlos que permitiram a montagem do reator UASB e a execução da pesquisa atual.

Aos funcionários Alessandra, Fábio, Célia da Pós Graduação da UNESP de Bauru pelo auxílio e orientação com a papelada. Ao prof. Dr. Heraldo Giachetti, coordenador do curso de pós graduação da UNESP de Bauru pelo apoio e colaboração.

À Nathalie Miranda que me acolheu e ajudou ao longo das análises em Bauru.

À todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, meu muito obrigada. Que Deus os abençoe sempre.

“Nem a altura, nem a profundidade, nem alguma outra criatura nos poderá separar do amor de Deus, que está em Cristo Jesus nosso Senhor”. Rom 8:39

RESUMO

O presente trabalho estudou o tratamento de água negra simulada (esgoto sanitário com efluente suíno) em reator UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*) mesofílico com DQO (demanda química de oxigênio) de entrada de $958,489 \pm 489,2\text{mg/L}$, TDH (tempo de detenção hidráulica) de $1,8 \pm 1,8\text{d}$ e COV (carga orgânica volumétrica) de $0,2 \pm 0,2 \text{ KgDQO/m}^3\text{d}$. Avaliou-se, ainda, o efeito da suplementação de metais traço (Fe, Ni, Mn, Ba, Se, Co e Cu) na AME (atividade metanogênica específica) do lodo utilizado como inóculo de partida do reator. Os ensaios com metais traços foram realizados em batelada utilizando o método Plackett Burman para planejar o experimento. Foram observados valores nitrogênio amoniacal junto a entrada do reator de $197,37 \pm 84,3\text{mgN/L}$, no entanto, o reator apresentou remoção de DQO de $61,7\% \pm 15\%$, demonstrando que não houve efeito tóxico da amônia no meio. Os resultados dos ensaios em batelada demonstraram efeito negativo estatisticamente significativo das adições de Ba e Mn sobre a AME, contudo, o Cu e o Se apresentaram efeito positivo, embora não estatisticamente significativos, indicando que a produção de metano a partir de água negra pode ser estimulada com a suplementação desses metais.

Palavras-chave: reator UASB, água negra simulada, metais traço, atividade metanogênica específica, planejamento Plackett-Burman.

ABSTRACT

The present work studied the treatment of simulated black water (sewage with swine wastewater) in UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*) mesophilic with input COD (chemical oxygen demand) of $958,489 \pm 489,2\text{mg /L}$, HRT (hydraulic retention time) of $1.8 \pm 1.8\text{d}$ and OLR (organic loading rate) $0.2 \pm 0.2 \text{ kgCOD/m}^3\text{d}$. This work also evaluated the effect of supplementation of trace metals (Fe, Ni, Mn, Ba, Se, Co e Cu) on the SMA (specific methanogenic activity) of the seed inoculum used in reactor startup. The trace metals assay were performed in batch mode using Plackett-Burman method of the design of the experiments. Despite of the ammonia nitrogen values at the influent of $197.37 \pm 84.3\text{mgN/L}$ reactor, the reactor presented COD removal of $61.7\% \pm 15\%$, indicating no toxic effect of ammonia. The results of the batch mode assays showed that a negative statistically significant effect of the addition of Ba and Mn on the SMA of the sludge, however, Cu and Se presented positive effect, although not statistically significant, which indicates that the methane production from black water might be enhanced by the supplementation of these metals.

Key words: UASB reactor, simulated black water, trace metals, specific methanogenic activity, Plackett-Burman design

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 SISTEMA URBANO DE COLETA DE ESGOTO.....	17
3.2 ESGOTO SANITÁRIO	17
3.2.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO.....	19
3.2.2 NUTRIENTES DO ESGOTO SANITÁRIO	21
3.3 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ESGOTO SANITÁRIO	22
3.4 ANAEROBIOSE – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	23
3.4.1 METAIS COMO SUPLEMENTO PARA A ANAEROBIOSE.....	25
3.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	26
3.5.1 REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE – UASB.....	27
3.5.2 PARTIDA DO REATOR UASB.....	29
3.6 TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO DESCENTRALIZADO	30
3.6.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA CINZA	31
3.6.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA NEGRA	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1 PARTIDA DE REATOR UASB PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS	33
4.1.1 LOCALIZAÇÃO	33
34	
4.1.2 INSTALAÇÕES DO EXPERIMENTO	34
4.1.3 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE A SER TRATADO	36
4.1.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PARA MONITORAMENTO DO REATOR UASB	39
4.2 PROTOCOLO EXPERIMENTAL DO ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DE METAIS NA PRODUÇÃO DE METANO.....	39
4.2.1 PLANEJAMENTO PLACKETT BURMAN	41
4.2.2 CÁLCULO DA ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA (AME) DAS BATELADAS.....	42
4.3 ANÁLISE DE METAIS NO LODO E EFLUENTE DO REATOR E NO LODO E EFLUENTE DO EXPERIMENTO EM BATELADAS.....	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 AVALIAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PARTIDA DO REATOR UASB.....	45

5.1.1	PERFIL TEMPORAL DOS ÁCIDOS PRODUZIDOS NO REATOR – CROMATOGRAFIA LÍQUIDA.....	51
5.1.2	COMPORTAMENTO DO REATOR QUANTO À CARGA DE SÓLIDOS APLICADA.	54
5.1.3	EFEITO DO NITROGÊNIO E FÓSFORO NO REATOR UASB.....	57
5.2	DINÂMICA DE METAIS TRAÇO NO REATOR UASB	61
5.2.1	EFEITO DOS METAIS TRAÇO NA PRODUÇÃO DE METANO NO EXPERIMENTO EM BATELADA.....	73
6	CONCLUSÕES	82
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

Lista de Siglas e Abreviaturas

AME - Atividade metanogênica específica

AOV - Ácidos orgânicos voláteis

AV - Ácidos voláteis por titulação

ANS - Água negra simulada

AT - Alcalinidade total

AP - Alcalinidade parcial

AI - Alcalinidade intermediária

COV - Carga orgânica volumétrica

C - Fração carbonato

DQO – Demanda química de oxigênio

DBO - Demanda biológica de oxigênio

ETE – Estação de tratamento de esgoto

INT - Fração intercambiável

MO-S - Fração matéria orgânica

R - Fração residual

ST - Sólidos totais

SV - Sólidos voláteis

SSV - Sólidos suspensos voláteis

SST - Sólidos suspensos totais

SVT - Sólidos suspensos totais

TDH - Tempo de detenção hidráulica

Lista de Figuras

Figura 1: Rota metabólica do microorganismo.....	25
Figura 2: Reator anaeróbio de manta de lodo.....	28
Figura 3: Divisões do esgoto sanitário.....	30
Figura 4: Localização do município de São Carlos.....	33
Figura 5: Estação de tratamento de esgoto de São Carlos.....	34
Figura 6: Reator UASB.....	35
Figura 7: Detalhes do reator UASB.....	35
Figura 8: Volume de efluente bruto suíno adicionado para a preparação do afluente simulado e DQO após a mistura de afluente suíno com esgoto sanitário.....	37
Figura 9: Caixa de 1600 litros com a mistura de afluente suíno com esgoto sanitário.....	38
Figura 10: Ensaio em batelada para determinação da AME.....	40
Figura 11: Câmara anaeróbia.....	44
Figura 12: Microondas.....	44
Figura 13: Alcalinidade total e ácidos orgânicos voláteis por titulação (acidez volátil AV) na entrada e saída do reator UASB nas diferentes fases.....	46
Figura 14: pH e relação de ácidos orgânicos voláteis por titulação (AV) pela alcalinidade total nas diferentes fases de operação.....	47
Figura 15: Valor de DQO na entrada e saída do reator UASB nas diferentes fases de operação.....	48
Figura 16: Eficiência da remoção de DQO ao longo das diferentes fases do monitoramento.....	49
Figura 17: Relação entre alcalinidade intermediária (AI) e alcalinidade parcial (AP) na saída do reator UASB.....	50
Figura 18: Perfil temporal dos AOV na entrada (A) e saída (B) do reator UASB.....	51
Figura 19: Sólidos no substrato do reator UASB.....	54
Figura 20: Análises dos sólidos totais nas diferentes camadas de lodo ao longo das diferentes fases do reator UASB.....	55
Figura 21: Análise dos sólidos voláteis totais nas diferentes camadas de lodo no reator.....	56

Figura 22: Variação de nitrogênio total na entrada e saída do reator UASB.....	58
Figura 23: Análise de nitrogênio amoniacal na entrada e saída do reator UASB.....	59
Figura 24: Análise de nitrito e nitrato na entrada e saída do reator UASB.....	60
Figura 25: Análise de fósforo total na entrada e saída do reator UASB.....	61
Figura 26A: Metais na entrada e saída do reator UASB – Al, Mg, K, Fe, e Zn.....	62
Figura 26B: Metais na entrada e saída do reator UASB – Ba, Mn, Se e Cu.....	62
Figura 26C: Metais na entrada e saída do reator UASB – Co, Ni, e Pb.....	63
Figura 27: Biodisponibilidade dos metais no lodo.....	66
Figura 28: Fração de Biodisponibilidade – inóculo de bateladas.....	73
Figura 29: Comportamento do Ba em relação ao Cu, Se e Mn.....	80

Lista de Tabelas

Tabela 1: Principais características do esgoto sanitário.....	20
Tabela 2: Agua negra simulada na literatura.....	32
Tabela 3: Características da partida do reator UASB.....	36
Tabela 4: Características da agua negra simulada.....	37
Tabela 5: Metodologias de analises do reator UASB.....	39
Tabela 6: Analises de metais no inoculo das bateladas.....	41
Tabela 7: Matriz Plackett-Burman de concentrações dos metais adicionados e totais nas garrafas do ensaio em batelada.....	42
Tabela 8: Condições do método de extração sequencial.....	43
Tabela 9: Condições para digestão das amostras no micro-ondas.....	44
Tabela 10: Valores de metais todas na entrada e saída do reator UASB.....	64
Tabela 11: Metais totais no lodo.....	73
Tabela 12: Metais na agua negra simulada (ANS).....	75
Tabela 13: Concentração de metais nas garrafas de batelada devido a adição do inoculo e água negra simulada.....	76
Tabela 14: Matriz de conc. total de metais adicionados pelo método Plackett-Burman.....	77
Tabela 15: Resultado da AME com o planejamento Plackett-Burman.....	77
Tabela 16: Analise estatística dos fatores para modelo linear a partir do planejamento Plackett-Burman.....	78

1. INTRODUÇÃO

Com a Revolução Industrial de 1760 na Inglaterra, a população que em sua maioria residia no campo, passou a viver nas cidades. No Brasil, entre os anos 1960 e 1970, houve um grande fluxo de pessoas do campo para as cidades em busca de melhores condições de vida. Com isto, tivemos a ocupação sem planejamento das cidades, aumento na produção de esgoto sanitário, uma vez que as cidades foram se desenvolvendo próximo a corpos de água. Como consequências desta ocupação sem planejamento observou-se a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, diminuição do oxigênio dissolvido na mesma, aumento da carga orgânica nas águas, aumento da mortalidade de peixes devido à poluição, eutrofização, proliferação e carreamento de patógenos, hormônios e fármacos.

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico em 2013 (SNIS, 2015) a média brasileira de cidades que eram abastecidas pela rede de distribuição de água era de 82,5%. A média de cidades que possuíam coleta de esgoto era de 48,6% enquanto a média de cidades brasileiras que possuíam tratamento de esgoto era de apenas 39% das que possuíam coleta. Sendo assim, podemos analisar que menos da metade das cidades brasileiras possuem rede coletora de esgoto.

Devido ao contato com água, solo ou ambientes contaminados com organismos patogênicos de origem entérica pode-se adquirir febre tifóide com febre contínua, mal-estar, manchas rosadas no corpo; febre paratifoide com febre contínua, manchas róseas, diarreia; cólera com diarreia, vômitos, desidratação, câimbras musculares; hepatite A com febre, mal-estar, falta de apetite, náuseas, dores abdominais; amebíase com febre, calafrios, diarreia; giardíase com diarreia, fraqueza, cólica abdominal; leptospirose que pode levar a complicações hepáticas e renais.

De acordo com Lorntz et al (2006), em publicação ao *The Pediatric Infectious Disease Journal*, crianças com diarreia durante sua infância podem ter problemas associados a imparidade física, problemas no crescimento e no desenvolvimento cognitivo. Tais problemas poderiam levar posteriormente a sociedade ter gastos com o tratamento destes indivíduos, os quais poderiam ser evitados, se houvesse uma estrutura sanitária adequada. A pesquisa realizada por Lorntz et al (2006) foi desenvolvida junto às cidades do nordeste brasileiro.

É de suma importância que se estude formas cada vez mais adequadas de se tratar o esgoto sanitário, a fim de que novas descobertas sejam realizadas e que ajudem a desenvolver tecnologias que posteriormente sejam utilizadas para a melhoria da qualidade de vida da

população. Como alternativa a vigente forma de separação e tratamento do esgoto sanitário, apresenta-se a proposta de captação e tratamento de água negra (fezes, urina), separadamente das águas cinzas (pias, máquinas de lavar, chuveiros), a fim de obter-se tratamentos com menores custos e de forma mais eficaz e possível reuso. Desta forma, o presente trabalho aborda a questão do tratamento de água negra simulada (esgoto sanitário com efluente proveniente de suinocultura), com a parceria de pesquisadores da EESC – USP de São Carlos, NIO-KNAW (Netherlands Institute of Ecology) da Holanda e Faculdade de Engenharia – Unesp em Bauru, que em seus estudos avaliaram a recuperação de nutrientes com a utilização de microalgas, a partir de água negra.

A água negra consiste na contribuição advinda dos vasos sanitários, enquanto a água cinza, na contribuição advinda de pias de banheiro, cozinha, águas descartadas de máquinas de lavar roupa e louça, chuveiros. O tratamento de ambas pode ser realizado de forma completamente diferente.

A atual proposta de tratamento de água negra simulada (mistura de esgoto sanitário com dejetos suínos) mostra-se como alternativa de tratamento para este efluente mais concentrado, visando a remoção de matéria orgânica, através da utilização de um reator UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente), além da recuperação de nutrientes através de utilização de microalgas em etapas posteriores, como também a desinfecção ao final do processo. Objetivando-se em etapas subsequentes fechar o ciclo de recuperação de micronutrientes, com as algas que podem ser utilizadas como fertilizante, além da possível recuperação do gás metano gerado, como fonte de energia e a possibilidade de reutilização do esgoto sanitário tratado por exemplo em águas utilizadas em vasos sanitários, dentre outros fins.

Sendo que este projeto de mestrado se restringiu a avaliação do desempenho do reator UASB em escala piloto para o tratamento de água negra simulada. Como proposta para a melhoria de desempenho do reator UASB no tratamento deste efluente concentrado, realizou-se simultaneamente testes contínuos em bateladas utilizando o mesmo lodo e efluente simulado com diferentes adições de micronutrientes (metais) a fim de se obter os resultados da atividade metanogênica do lodo utilizado no reator, com e sem a adição de micronutrientes.

6 CONCLUSÕES

Foi observado ao longo do monitoramento do reator UASB estabilidade junto aos valores de temperatura com média de $24,8 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$. Valores de alcalinidade em média de $1761,9 \pm 779 \text{mg.CaCO}_3/\text{L}$ na saída do reator com estabilidade nos valores de pH na saída de $7,5 \pm 0,2$. Foi observado acidez volátil na entrada de $252,75 \text{ mgCH}_3\text{COOH}/\text{L}$ e saída de $46,05 \text{ mgCH}_3\text{COOH}/\text{L}$ com menores valores de ácidos na saída possivelmente devido a utilização de AV para a produção de metano por micro-organismos. Observou-se remoção de DQO no sistema de $61,7 \pm 15\%$ com aumento da eficiência de remoção ao longo do tempo de operação do reator UASB. Apresentando baixa perda de sólidos suspensos voláteis ao longo do monitoramento do reator UASB.

Os valores de nitrogênio amoniacal na entrada foram $197,37 \pm 84,3$ e na saída $170,6 \pm 69,1 \text{ mgN}/\text{L}$, sendo que o nitrogênio amoniacal no interior do reator não apresentou toxicidade ao meio. O reator apresentou remoção dos metais Se, Zn, Mn, Mg, Cu e K junto ao efluente de saída em relação ao efluente de entrada. Entretanto Se, Zn, Mn, Cu e Fe apresentaram valores acima do permitido pela legislação CONAMA 430/2011, extrapolando limite de concentração para efluentes de estações de tratamento de esgoto no Brasil, entretanto isto deveu-se a uma maior perda de sólidos no 130º dia de monitoramento, com estes metais possivelmente aderidos aos mesmos. A análise de metal no lodo realizada na etapa 3 próxima ao final do monitoramento do reator UASB mostrou que o Zn estava acima do permitido pela legislação CONAMA 375/2006 para a utilização na agricultura de lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto no Brasil.

As análise de metais no lodo utilizado como inóculo das bateladas apresentaram a biodisponibilidade dos elementos da seguinte forma $\text{Ba} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Se}$. Sendo que as análises de AME demonstraram que o Ba e o Mn tiveram efeito negativo significativo no sistema. O Se e o Cu tiveram efeito positivo porém não significativo sobre o sistema.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, M. A. T.; HIRASAWA, J. S.; VARESCHE, M. B. A. Development and Validation of Two Methods to Quantify Volatile Acids (C2-C6) by GC/FID: Headspace (Automatic and Manual) and Liquid-Liquid Extraction (LLE). **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 05, n. 07, p. 406–414, 2014.

ARCEIVALA, S.J. Wastewater treatment and disposal. **Engineering and ecology in pollution control**. New York, Marcel Dekker.892p. 1981

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 18 ed. American Public Health Association, Washington, DC, 1992.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC, 1998.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2005

APHA, AWWA, WEF, 2012. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater** 22 ed. American Public Association, Washington, DC.

BARBER, W.P; STUCKEY, D.C. **Metal bioavailability and trivalent chromium removal in ABR**. J. Environ. Eng., 126 (7), p.649-656, 2000.

BARNES R. O. e GOLDBERG E. D. Methane production and consumption in anoxic marine sediments. **Geology** 4, 297, 1976.

BEHLING E., DIAZ A., COLINA G., HERRERA M., GUTIERREZ E., CHACIN E., FERNANDEZ N., FORSTER D.F. Domestic wastewater treatment using a UASB reactor. **Bioresource Technology** 61, p.239-245, 1997.

BRASIL, Decreto 5916/75 | Decreto nº 5.916, de 13 de Março de 1975. Disponível em: <<http://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/216699/decreto-5916-75>>. Acessado em 26 de setembro de 2015.

BRASIL, LEI Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acessado em: 26 de setembro de 2016.

BUYUKKAMACI N. e FILLIBELI A. Volatile fatty acid formation in an anaerobic hybrid reactor. **Process Biochemistry** 39,p. 1491–1494, 2004.

BOGTE, J.J,BREURE, A.M, ANDEL J. G., LETTINGA G. Anaerobic treatment of domestic wastewater in small scale UASB reactors. **Water Science Technology**, 27(9), p.75-82, 1993.

CAMPOS, C. M. M.; MOCHIZUKI, E. T.; DAMASCENO, L. H. S.; BOTELHO, C. G. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. **Ciência e Agrotec- nologia**, v.29, n.4, p.848-856, 2005.

CAMERON R. D. e KOCH R.A. Trace metals and anaerobic digestion of leachate. Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 52, No. 2, p. 282-292, 1980.

CHANPIWAT P., STHIANNOPKAO S., KYOUNG-WOONG K. Metal content variation in wastewater and biosludge from Bangkok's central wastewater treatment plants. **Microchemical Journal**, 95, p.326–332, 2010.

CHAGGU E. J., SANDERS W. e LETTINGA G. Demonstration of anaerobic stabilization of black water in accumulation systems under tropical conditions. **Bioresource Technology** (98), p.3090-3097,2007.

CHERNICHARO, C.A.L.; CAMPOS, C.M.M. **Tratamento anaeróbio de esgotos**. Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG, Apostila, 65 p., 1995.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. Coleção “Princípios do tratamento biológico de águas residuárias”, volume 5. Belo Horizonte: Depto. de Eng. Sanitária e Ambiental (DESA), UFMG, 1997.

CHERNICHARO, C.A.L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 380p.,2007.

DAAE, Departamento de Abastecimento de água e esgoto de São Paulo, **Decreto 10755, 1977**. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/arquivos/835/decreto_10755.pdf> Acesso em 21 de Outubro de 2015.

DIEKERT, G.; WEBER B.; THAUER R. K. **Nickel dependence of factor F430 content in Methanobacterium thermoautotrophicum**. Arch. Microbiol. 127, p. 273-277,1980.

DILALLO, R.; ALBERTSON, O.E. **Volatile acids by direct titration**. J. Water Pollut. Control Fed. 33. p. 356–365, 1961.

EHRlich H. L. Manganese oxide reduction as a form of anaerobic respiration. **Geomicrobiology Journal**. Vol. 5, p. 423-431, 1987.

ELMITWALLI T.A., van LEEUWEN M., KUJAWA-ROELEVELD K., SANDERS W. e ZEEMAN G. Anaerobic biodegradability and digestion in accumulation systems for concentrated black water and kitchen organic-wastes. **Water Science & Technology** Vol 53, No 8 p. 167–175, IWA Publishing, 2006.

ERIKSSON, E.; AUARTH, K.; HENZE M.; LEDIN, A. **Characteristics of grey wastewater**. Urban Water 4. p. 85 - 104,2002.

EQUIPE ESTATCAMP. **Software Action**. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil, 2014. URL <http://www.portaction.com.br/>.

FORESTI, E. **Fundamentos do processo de digestão anaeróbia**. In: Anais III Taller y Seminario Latinoamericano: tratamiento anaerobio de aguas residuales. Montevideo, Uruguay, p. 97-110, 1994.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; Van HAANDEL; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P.F.F. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J.R. (coord). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, Cap 2.1999.

FROELICH P. N., KLINKHAMMER G. P., BENDER M. L., LUEDTKE N. A., HEATH G. R., CULLEN D., DAUPHIN P., HAMMOND D., HARTMAN B. e MAYNARD V. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. **Geochim. Cosmochim. Acta** 43, 1075 anae, 1979.

GRAFF M.S.; TEMMINK H.; ZEEMAN G.; BUISMAN C.J.N; Anaerobic Treatment of Concentrated Black Water Reactor at a Short HRT – **Water** 2, p.101- 119, 2010.

GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009.

GOOGLE MAPS. **Localização do município de São Carlos**, disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-22.0108371,-47.9046279,9z?hl=pt-BR>>. Acessado em: 25 de fevereiro de 2016.

GUJER W. e ZEHNDER A. J. B. Conversion processes in anaerobic digestion. **Wat. Sci. Technol.** 11, (819), p.127- 167, 1983.

GUSTAVSSON, J.; SVENSSON B.H.; KARLSSON A. The feasibility of trace element supplementation for stable operation of wheat stillage-fed biogas tank reactors. **Water Science and Technology** 64.2, 2011.

GUSTAVSSON, J.;YEKTA S. S., KARLSSON A., SKYLLBERG U., SVENSSON B.H. Potential bioavailability and chemical forms of Co and Ni in the biogas process—An evaluation based on sequential and acid volatile sulfide extractions. **Engineering in Life Science**, 13, p. 572-579, 2013.

GROSS, A.; AZULAI, N.; ORON, G.; RONEN, Z.; ARNOLD, M.; NEJIDAT, A. Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: a case study. **Water Sci. Technol.** 52 (8), p. 161 – 169, 2005.

HAANDEL A. e LUBBE J. Handbook of Biological Wastewater Treatment: Design and Optimization of Activated Sludge Systems. IWA Publishing, p. 770, 2012.

HENZE, M., LEDIN, A. Types, characteristics and quantities of classic, combined wastewaters. In: Lens, P., Zeeman, G., Lettinga, G. (Eds.), **Decentralised Sanitation and Reuse IWA Publishing**, UK, p. 57–72, 2001.

HERNADEZ L. L.; ZEEMAN, G.; TEMMINK, H.; BUISMAN, C. Characterisation and biological treatment of greywater. **Water Science and Technology**, 56 (5), p. 193-200, 2007.

HERNADEZ L. L; **Removal of micropollutants from grey water. Combining biological and physical/ chemical process.** Thesis Wageningen University, Wageningen, 200p, 2010.

HILL D. T., COBB S. A., BOLTE J. P. Using volatile fatty acid relationships to predict anaerobic digester failure. **Trans ASAE**, 30,496–501, 1987.

IBGE, **Pesquisa trimestral de Abate de Suínos.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/default.asp?t=1&z=t&o=1&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1&u8=1&u9=1&u10=1&u11=1&u12=3&u13=1&u14=26674&u15=1&u16=1>>. Acessado em 20 de Agosto de 2015.

IBGE, 2014. **IBGE Cidades.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354890&search=sao-paulo%7Csao-carlos>>. Acesso em 27 de Agosto de 2015.

IAWQ. Activated sludge model n°2. **Scientific and Technical Reports.** 1995.

KATO, M. T et. Al. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, cap. 3, p. 53-100, p. 405, 1999.

KARVELAS M., KATSOYANNIS A., SAMARA C. Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process, **Chemosphere**, 53, p.1201–1210, 2003.

KUKAWA-ROELEVELD K., T. ELMITWALLI, GAILLARD A., van LEEUWEN M. and. ZEEMAN G. Co-digestion of concentrated black water and kitchen refuse in accumulation system within the DESAR (decentralized sanitation and reuse) concept. **Water Science and Technology**, Vol 48, No 4 p. 121–128, 2003.

KUJAWA-ROELEVELD K.; ZEEMAN, G. **Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts**. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 5, p. 115-139, 2006.

KUJAWA-ROELEVELD K., FERNANDES T., WIRYAWAN Y., TAWFIK A., VISSER M., ZEEMAN G., Performance of UASB septic tank for treatment of concentrated blackwater within DESAR concept, **Water Sci. Technol.** 52, p.307–313, 2005.

KOSTER, I.W.; KOOMEN, E. Ammonia inhibition of maximum growth rate of hydrogenotrophic methanogens at various pH-levels and temperatures. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 28, p.500-505, 1988.

LASHEEN M. R. e AMMAR N.S. Assessment of metals speciation in sewage sludge and stabilized sludge from different Wastewater Treatment Plants, Greater Cairo, Egypt. **Journal of Hazardous Materials** 164 , p.740–749, 2009.

LETTINGA G.; Van VELSEN, A. F. M.; HOBMA et al. Use of the upflow sludge blanket (USB) concept for biological wastewater treatment, especially anaerobic treatment. **Biotechnology and Bioengineering**, n. 22, p.699-734, 1980.

LETTINGA, G., HULSHOFF POL L. W., KOSTER I. W., WIEGANT W. M., DE ZEEUW W. J., RINZEMA A., GRIN P.C., ROERSMA R.E. AND HOBMA S.W. High rate anaerobic wastewater treatment using the UASB reactor under a wide range of temperature conditions. **Biotechnology and Genetic Engineering**, v.2, p. 253-84, 1984.

LETTINGA, G.; HULSHOFF POL L.W; ZEEMAN G. **Biological Wastewater Treatment. Part I: Anaerobic Wastewater Treatment.** Lecture Notes. Wageningen Agricultural University, ed. Janeiro,1996.

LORNTZ B.; SOARES A. M; MOORE S.R.; PINKERTON R.; GANSNEDER B.; BOVBJERG B. E.; GUYATT H.; LIMA A. M; GUERRANT R. L. **Early Childhood Diarrhea Predicts Impaired School Performance.** Pediatric Infectious Disease Journal: - pp 513-520 - Volume 25 - Issue 6 doi: 10.1097/01.inf.0000219524.64448.90 Original Studies Junho 2006, disponível em:
<http://journals.lww.com/pidj/Abstract/2006/06000/Early_Childhood_Diarrhea_Predicts_Impaired_School.9.aspx>, acessado em 20 de agosto de 2014.

LUOSTARINEN S., SANDERS W., KUJAWA-ROELEVELD K., ZEEMAN G. Efect of temperature on anaerobic treatment of black water in UASB-septic tank systems. **Bioresource Technology** (98), p.980–986, 2007.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.466-471, 2006.

MALINA J. F., POHLAND G.F. Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes, **Water Quality Management Library**; TECHNOMIC publication, vol. 7, 1992.

MORAES, L. M.; PAULA JÚNIOR, D. R. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.2, p.445-454, 2004.

METCALF; EDDY. Inc. **“Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse”**. McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.

METCALF; EDDY. Inc. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p., 2003

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2012**. Sistema Nacional de informações sobre saneamento 2012. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em Julho de 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES - SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL –**Plano Nacional de Saneamento Básico PLANSAB**, Brasília, dez. de 2013. Disponível em <http://www.sindaguamg.com.br/plansab/plansab_06-12-2013.pdf>. Acesso em:15 de jan. 2015

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – **CONAMA – Resolução 430, 2011** - Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em 26 de agosto de 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – **CONAMA – Resolução 357, 2005** – Classificação dos Corpos de Água. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 26 de agosto de 2016.

NORMA BRASILEIRA DE PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE TANQUES SÉPTICOS. **NBR 7229, 1993**. Disponível em: <http://www.acquasana.com.br/legislacao/nbr_7229.pdf>. Acessado em 22 de outubro de 2015.

OLIVEIRA, P. A. V. de (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 188 p.1993.

OLIVEIRA, R. A. de. **Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluente no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

OLIVEIRA, R. A.; FORESTI, E. Balanço de massa de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p.807-820, 2004.

OTTERPOHL R. Design of highly efficient source control sanitation and practical experiences. In: Lens, P., Zeeman, G., Lettinga, G. (Eds.), **Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, systems and implementation.** IWA Publishing, Wageningen. 2001

OTTERPHOL, R. Options for alternative types of sewerage and treatment systems directed to improvement of the overall performance. **Water Sci. Technol.** 45 (3), p.149-158. 2002

OSUNA M.B.; van HULLEBUSCH E.D.; ZANDVOORT, M.H.; IZA J.; LENS P.N.L. **Effect of cobalt sorption on metal fractionation in anaerobic granular sludge.** J. Environ. Qual. 33, p. 1256 –1270, 2004.

PATIDAR S. K; TARE V. **Effect of nutrientes on biomass activity in degradation of sulfate laden organics.** Process Biochem. 41, p.489-495. 2006

PAVLOSTATHIS S. G. e GIRALDO-GOMEZ E. Kinetics of anaerobic treatment. **Wal. Sci. Tech.** Vol. 24, No.8, p. 35-59, 1991.

PO M.; KAEROCHER J.; NANCARROW, B. **Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse.** Technical report 54/03. CSIRO Land and Water, 2003.

QASIM, S.R. **Wastewater treatment plants: planning, design and operation.** Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

RAM M.S.; SINGH, L.; SURYANARAYANA M.V.S; ALAM S.I. Effect of iron, nickel and cobalto on bacteria activity and dynamics during anaerobic oxidation of organic matter. **Water Air and Soil Pollution** 117 (1-4), p.305-312, 2000.

REBELO, M. M. P. S. **Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas**. Dissertação - Mestrado Em Engenharia: Recursos Hídricos E Saneamento - Universidade Federal de Alagoas - Centro de Tecnologia, Maceió, 2011.

RICE et al. **Standard methods for the examination of water and waste water 22nd Edition**. **American Public Health Association**, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2012.

RIPLEY, L. E.; BOYLE W.C.; CONVERSE, J.C.; **Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of higt – strengt wastes**. Journal Water Polution Control Federation, Alexandria, v.8, n.5, p. 406-411, Maio 1986.

RUEL S. M., COMEAU Y., HÉDUIT A., DERONZIER G., GINESTET P., AUDIC J.M. Operating conditions for the determination of the biochemical acidogenic potential of wastewater. **Water Research** 36, p. 2337–2341,2002.

SAAE, Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos. ETE – Estação de Tratamento de Esgoto Monjolinho. Disponível em: <<http://www.saaesaocarlos.com.br/index.php/home/412-prefeitura-e-saae-assinam-contrato-para-inicio-da-ampliacao-da-ete-monjolinho>>. Acessado em 22 de outubro de 2015.

SERAVALLI J., GU W., TAM A., STRAUSS E., BEGLEY T. P., CRAMER S. P.e RAGSDALE S. W. **Functional copper at the acetyl-CoA synthase active site**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America – PNAS, vol. 100, nº 7, p.3689-3694, 2002.

SCHONHEIT P.; MOLL J.; THAUER R. K. Nickel, cobalt, and molybdenum requirement for growth of *Methanobacterium thermoautotrophicum*. **Arch. Microbiol.** p.105-107, 1979.

SCHERER P., LIPPERT H. e WOLFF, G. **Biological Trace Element Research** Vol. 5. p.149-163, 1983.

SCHMIDT J. E., MACARIO A. J. L., AHRING B. K. e MACARIO E. C. Effect of Magnesium on Methanogenic Subpopulations in a Thermophilic Acetate-Degrading Granular Consortium. **Applied and Environmental**, Vol. 58, No. 3, p. 862-868, 1992.

SILVA G.H.R., ANDRIENSSSEN N., HAIMES S., FERNANDES T. V. **Microalgae as the solution for nutrients recovery from black water: pilot scale study**. In: 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems (SWWS) together with the 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation (ROS), Atenas, 2016,

SPEECE, R. E. **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters**, Archae Press, USA, 1996.

SNIS, SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=105>>. Acesso em 19 de agosto de 2015.

SSWM, Sustainable Sanitation and Water Management. **UASB Reactor**. Disponível em: <<http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments/u>>. Acessado em 11 de novembro de 2015.

SWITZENBAUM M.S., GIRALDO-GOMES E. HICKEY R. F. Monitoring on the anaerobic treatment technology. **Enzym Microb. Technol.**, 12, p.722-730, 1990.

STOLZ J. F., OREMLAND R. S. Bacterial respiration of arsenic and selenium. **FEMS Microbiology Reviews** 23, p.615-627, 1999.

TAKASHIMA M; SPEECE R. E.; **Mineral nutrient requirements for high-rate methane fermentation of acetate at low SRT**. Res. J. Wat. Poll. Cont. Fed 61 (11 –12), p.1645 –1650, 1989

TESSIER A.; CAMPBELL P. G. C.; BISSON, M. **Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals**. Anal. Chem.. v. 51, p. 844-850, 1979.

THAUER R.K., JUNGERMANN K. e DECKER K. Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria. **Bacteriol. Rev.**(41), p.100-180, 1977.

ÜSTÜN G. E. Occurrence and removal of metals in urban wastewater treatment plants. **Journal of Hazardous Materials**, 172, p.833–838, 2009.

VAN der VEEN A.; FERMOSO F. G.; LENS P. N. L. Bonding Form Analysis of Metals and Sulfur Fractionation in Methanol-Grown Anaerobic Granular Sludge. **Engineering in Life Sciences**, 7(5), p.480–489, 2007. Doi:10.1002/elsc.200720208

VON SPERLING M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Belo Horizonte, 240 p. 1995.

VON SPERLING M. – **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto** - 2 ed. - Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING M.; CHERNICHARO C.A. L. – **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions** – Vol. 1 – IWA London – Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Minas Gerais, Brazil, 2005.

VON SPERLING M.; – **Wastewater Characteristics Treatment and Disposal** – 1º ed. – IWA – London - Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Minas Gerais, Brazil 2007.

VON BREYMAN M. T., EMEI K.-C., SUESS E. Water depth and diagenetic constraints on the use of barium as a palaeoproductivity indicator. In **Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene**, vol. 64 (eds. C. P. Summerhayes, W. L. Prell and K. C. Emeis). Geological Society Special Publication, p. 273–284, 1992.

WILCOX S. J., HAWKES D.L., HAWKES F. R., GUWY A. J. A neural network, based on bicarbonate monitoring to control anaerobic digestion. *Water Res.*, 29, p.1465-1470, 1995.

WOLIN M. J. Hydrogen transfer in microbial communities. In: **Microbial Interactions in Communities**. A.T. Bull e J.H. Slater (Eds.). Vol. 1, Academic Press, Inc., Londres, 1982.

WORM P.; FERMOSO F.G.; LENS P.N.I.; PLUGGE C.M. The feasibility of trace elemento supplementation for stable operation of wheat stillage-fed biogas tank reactors. **Enzyme and Microbial Technology** 45, p.139-145, 2009.

ZANDVOORT M. H., van HULLEBUSH E. D., GIETELING J., LENS P. N. L. Granular sludge in full-scale anaerobic bioreactors: Trace element content and deficiencies. **Enzyme and Microbial Technology**, 39, p.337-346, 2006.

ZEEMAN G.e LETTINGA G. The role of anaerobic digestion of domestic sewage in closing the water and nutrient cycle at community level. **Water Sci. Technol.** 39 (5),p. 187–194, 1999.

ZINDER S. H. Microbiology of anaerobic conversion of organic wastes to methane: recente developments. **ASM News**, (50), p.294-298, 1984.

ZICKERFOOSE C., HAYES R. B. J. **Anaerobic sludge digestion: Operations Manual**. EPA 430/9-76-001. US National Technical Information Service, Springfield, VA, 1976.