REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Produção de Biofertilizantes e Aproveitamento Energético do Biogás Proveniente da Digestão Anaeróbia do Lodo Produzido em Ete: Uma Avaliação do Potencial da Cidade de Cristina (Mg)[1]

Hélio José da Silva[2]

[1]Aceito para Publicação no 4° Trimestre de 2015

[2]Universidade Federal de Itajubá, e-mail: heliohjs01@gmail.com

Resumo

A demanda brasileira por energia cresce a cada dia em função da intensa dinamização de sua economia, fazendo com que a busca por fontes alternativas torne-se indispensável. Além disso, tendo em vista que as atividades agrícolas representam a base da economia brasileira e que a demanda mundial por alimentos cresce a altas taxas, verifica-se a necessidade de emprego de uma grande quantidade de insumos, como fertilizantes, agrotóxicos e reguladores de crescimento. Para atender às expectativas energéticas e agrícolas, diversos trabalhos discutem a potencialidade energética da combustão do biogás gerado a partir do lodo de estações de tratamento de esgotos (ETE's) bem como o emprego desse rejeito como fonte de nutrientes ao solo. O lodo de esgoto representa hoje um grande problema ambiental principalmente devido ao seu alto poder de poluição. Também, à medida que a legislação brasileira avança no sentido promover maiores e melhores tratamentos das águas residuárias, é certo que a produção de lodo aumente quantitativamente. Esse trabalho tem como foco dimensionar uma ETE para o município de Cristina/MG, estimar o potencial energético do biogás gerado a partir do tratamento anaeróbio do esgoto e seu emprego no processo de secagem e higienização do lodo a fim de que este possa ser empregado com finalidades agrícolas, base da economia do município e do país. Por meio da revisão bibliográfica busca-se fundamentar a relevância do tema para o desenvolvimento sustentável, partindo do

princípio de encontrar soluções fundamentadas no tripé meio ambiente, sociedade e economia.

Palavras-chave: Energia Alternativa, Biofertilizantes, Sustentabilidade.

Production of Biofertiliziers and Energy Use of Biogas From The Anaerobic Digestion of The Sludge Produced In Sts: A Pespective Evaluation of The City of Cristina (Mg).

Abstract

Brazil's demand for energy is growing every day due to the intense dynamism of its economy, making the search for alternative sources become indispensable. Moreover, given that agricultural activities represent the foundation of the Brazilian economy and the global demand for food grows at high rates, there is the need to employ a lot of inputs such as fertilizers, pesticides and growth regulators. To meet the energy and agricultural expectations, several papers discuss the potential energy of combustion of the biogas generated from sewage treatment system plants (STS's) as well as the use of this waste as a source of nutrients to the soil. The sewage sludge today is a major environmental problem mainly due to its high pollution. Also, as the Brazilian legislation is moving towards promoting more and better treatment of wastewater, it is certain that the sludge production increase quantitatively. This work focuses on scale STS for the city of Cristina / MG, estimate the energy potential of biogas generated from the anaerobic sewage treatment system and its use in drying and sludge cleaning process so that it can be employed with agricultural purposes, based on the municipality's economy and the country. Through literature review seeks to justify the relevance of the theme for sustainable development, assuming find solutions based on the tripod environment, society and economy.

Key-words: Alternative Energy, Biofertilizers, Sustainability.

1) Introdução

De acordo com Pinto & Andreoli (2001), a produção de lodo no Brasil está estimada entre 150 mil e 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Devido aos baixos índices de coleta e tratamento de esgoto ainda existentes no país e à pressão da sociedade por melhores condições ambientais, há uma tendência de ocorrer um incremento substancial na quantidade de lodo a ser disposto nas próximas décadas. O aumento populacional além de causar um incremento na produção de resíduos, provoca também um aumento considerável nos problemas gerados ao meio ambiente. Além disso, com o aumento do número de estações de tratamento de esgoto (ETE's) surge à necessidade de tratamento do lodo gerado.

As ETE's reproduzem a capacidade natural que os cursos d'água têm de decompor a matéria orgânica em menor espaço e tempo, pois propiciam aos principais agentes de tratamento (bactérias, algas, etc.) condições mais favoráveis de crescimento (FRANÇA JUNIOR, 2008). O tratamento de esgoto consiste em uma série de processos que visam diminuir o potencial poluidor dos efluentes urbanos, consistindo em geral na redução da carga orgânica desse efluente através de processos de oxidação, de concentração e remoção da matéria orgânica através da decantação. Obtém-se ao final do processo o lodo que representa um resíduo de composição variável e de altíssimo potencial poluidor. Um lodo de esgoto típico apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e os demais macros e micronutrientes.

Conforme Shultz (2007), o lançamento de dejetos na natureza, sem tratamento prévio, pode causar desequilíbrios ambientais, proliferação de vetores de doenças e o aumento de doenças vinculadas à água e ao solo. Uma disposição adequada dos dejetos é uma das medidas que devem ser adotadas a fim de que se promova uma diminuição nos impactos negativos gerados a partir do lodo das ETE's.

Diante do grande desafio de promover o aproveitamento ou a disposição final do lodo de esgoto ou biossólido, pode-se destacar as seguintes alternativas: disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos); geração de energia a partir do biogás gerado seja por processo aeróbio ou anaeróbio; reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); incineração (incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos); conversão em óleo combustível; disposição oceânica; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração) e uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizantes e solo sintético).

Do ponto de vista da geração de energia a partir do biogás, tem-se que transformação da matéria orgânica em biogás e outros subprodutos se realizam pelo metabolismo das bactérias, tendo uma pequena participação de fungos e outros micro-organismos. A biodegradação, seja ela com ou sem ausência de Oxigênio, está subdividida em etapas e em cada fase predomina o trabalho de determinado tipo de bactéria, porém, essa prevalência não é absoluta, tornando o processo extremamente complexo.

Nos sistemas anaeróbios, observa-se que cerca de 70 a 90% do material orgânico biodegradável presentes no afluente é convertido em biogás, que por sua vez é removido da fase líquida e deixa o reator na forma gasosa. Apenas cerca de 5 a 15% do material orgânico é convertido em biomassa microbiana, constituindo-se o lodo excedente. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se mais concentrado e com melhores características de desidratação. A parcela restante deixa o reator como material não degradado (10 a 30%) (CHERNICHARO *et al.*,2001). Já nos processos aeróbios, mais da metade da Demanda Química de Oxigênio (DQO) afluente torna-se lodo, segundo os autores.

A utilização do lodo pela agricultura é a forma que, na atualidade, representa o meio mais utilizado de gerenciamento do lodo. Para se ter uma noção da grande utilização do lodo pelo mundo, de acordo com EPA (2009) aproximadamente 60% do lodo produzido nos Estados Unidos já é empregado para fins agrícolas. Segundo EMBRAPA (2002), a incorporação desses resíduos ao solo gera muitos benefícios ao mesmo e, por conseguinte ao meio ambiente, a sociedade e a economia: retenção de umidade em solos arenosos; melhora a permeabilidade e infiltração nos solos argilosos; mantém uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície; a capacidade de troca catiônica do solo, o teor em sais solúveis e de matéria orgânica pode ser aumentado (lembrando que a maioria de nossos solos agrícolas é pouco fértil e têm baixa capacidade de troca de cátions).

Além desses benefícios, a adoção desse tipo de projeto favorece a melhoria sanitária do Brasil, uma vez que a utilização desses rejeitos diminui a quantidade de carga destinada aos aterros sanitários, aumentando, portanto seu tempo de vida útil.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é dimensionar uma ETE com aproveitamento energético do biogás gerado anaerobiamente a partir do lodo desse esgoto para o município mineiro de Cristina, bem como o emprego da energia gerada nesse processo para a secagem e higienização da biomassa resultante para utilização desta como fertilizante frente aos incentivos estabelecidos pelas agências ambientais, desde que respeitada à legislação.

2) Materiais e métodos

2.1) Área de estudo

A cidade escolhida para simulação e levantamento dos dados foi Cristina, localizada no sul do estado de Minas Gerais (

(Fonte: IBGE, 2010)

Figura 2.1), distante 398 km da capital mineira, Belo Horizonte. Tem como municípios limítrofes: Olímpio Noronha, Carmo de Minas, Dom Viçoso, Maria da Fé, Pedralva e Conceição das Pedras. A agricultura representa a principal atividade econômica do município.

(Fonte: IBGE, 2010)

Figura 2.1 - Localização de Cristina, MG.

Na Tabela 2.1, são mostradas algumas informações sobre o município de Cristina, MG.

Tabela 2.1 - Informações do município de Cristina, MG.

CRISTINA, MG	
População estimada 2014	10.485
População 2010	10.210
Área da unidade territorial (km²)	311,330
Densidade demográfica (hab/km²)	32,79
Código do Município	3120508
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - 2010 (IDHM 2010)	0,668
PIB per capita a preços correntes - 2011 (R$)	11.049,31

(Fonte: IBGE, 2010).

2.2) Área selecionada para a localização da ETE - CRISTINA

A ETE - CRISTINA poderá situar-se na zona noroeste da cidade de Cristina, próxima às margens da MG-383. Este local foi definido por meio do mapa planialtimétrico do município, na qual aproximadamente 70% do esgoto poderão ser conduzidos por gravidade. Trata-se de uma área distante dos principais núcleos populacionais, evitando assim problemas advindos com o mau cheiro do local e além do fato de que devido às proximidades da rodovia, facilita o escoamento da produção de biofertilizantes.

2.3) Previsão da população

Para o cálculo da previsão populacional, foi utilizado o modelo matemático conhecido como projeção aritmética. Para tal, foram levantados dados da população de Cristina - MG nas plataformas de pesquisa do IBGE. Na Tabela 2.2 são apresentados os dados obtidos.

Tabela 2.2 - População de Cristina, MG.

	Ano (t)	População (P)
0	2000	10.339
1	2007	10.955
2	2010	10.210

(Fonte: IBGE, 2010).

Utilizando os dados apresentados, foi feita a projeção da população para os anos posteriores, com o objetivo da obtenção da população no ano de 2035. Como o crescimento populacional do município de Cristina apresenta contrastes (reduz de 2007 para 2010) quando comparado com o crescimento do estado de Minas Gerais e/ou do Brasil, optou-se por utilizar a taxa de crescimento de população municipal baseada nos valores de Minas Gerais. A seguir, são apresentadas as equações (1) e (2) utilizadas para a projeção da população.

- **Método aritmético (PA):**

$$r = (P_2 - P_1)/(t_2 - t_1) \qquad \text{(equação 01)}$$

$$P = P_0 + r(t - t_0) \qquad \text{(equação 02)}$$

Os valores obtidos para a projeção populacional através do método supracitado estão apresentados na Tabela 2.3:

Tabela 2.3 - Projeção da população para a cidade de Cristina, MG, baseado no crescimento populacional de Minas Gerais.

Ano	PA
2016	10165
2035	11290

2.4) Estimativa da vazão de esgoto

Para estimar a vazão de esgoto, foram utilizadas as equações (3), (4) e (5) abaixo, de acordo com Von Sperling (1996).

- **Vazão doméstica (Q_{dom}):**

Q_{dom} = Pop * q * C / 1000 (m^3/dia) (equação 03)

Onde:

Pop = População no ano de 2035

q = Taxa de consumo per capita (L/hab.dia)

C = Coeficiente de retorno (%)

- **Vazão de infiltração (Q_{inf}):**

$Q_{inf} = T_x * l$ (m^3/dia) (equação 04)

Onde:

T_x = Taxa de infiltração (L/s.Km)

l = Extensão da rede (Km)

- **Vazão total a ser tratada (Q_{total}):**

$Q_{total} = Q_{dom} + Q_{inf}$ (m^3/dia) (equação 05)

Os parâmetros necessários para a determinação da vazão de esgoto estão apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Parâmetros empregados para a determinação da vazão de esgoto.

PARÂMETRO	**VALOR**
Taxa de consumo de água Per capita	150 L / hab . dia
Coeficiente de retorno	90%
Taxa de infiltração	0,3 L / s . Km

2.5) Dimensionamento da ETE – CRISTINA

Para a ETE a ser projetada, propõe-se: tratamento preliminar, tratamento primário e secundário, bem como destino final do lodo para aproveitamento energético e produção de biofertilizantes.

2.5.1) Tratamento preliminar

Esta etapa do tratamento do esgoto visa à remoção de sólidos grosseiros e finos. Para isso, serão construídos sistemas de gradeamento, com a finalidade de reter, principalmente, garrafas plásticas e madeiras. Superada esta fase, de acordo com Tomaz (2005), o efluente passará por uma caixa de areia, de dimensões tecnicamente calculadas. Esta caixa que apresenta dimensões retangulares será feita em alvenaria impermeável, tendo como principal função remover sólidos com diâmetro entre 0.1 a 0.4 mm, que estão contidas no esgoto doméstico. De acordo com especificações técnicas, o tempo de detenção do efluente nesta caixa de areia deverá ser de 60 segundos, com velocidade horizontal de 0,30 m/s, e velocidade de sedimentação de 0,75 m/s para partículas de 15 mm de diâmetro. Os principais parâmetros necessários para o dimensionamento da caixa de areia é dado pelas equações (6), (7) e (8) abaixo, lembrando que seu dimensionamento é em função do escoamento superficial:

- **Largura da caixa de areia (b):**

$b = Q_{máx} / (Y_{máx} * V_{hor})$ (m) (equação 06)

Onde:

$Q_{máx}$ = altura máxima (m)

$Y_{máx}$ = altura máxima da lâmina (m)

V_{hor} = velocidade horizontal (m/s)

- **Comprimento da caixa de areia (L):**

L= 25 * Ymáx (m) (equação 07)

- **Área da caixa de areia (A_{ca}):**

$A_{ca} = b * L$ (m^2) (equação 08)

Ao final dessa etapa, o efluente escoará por uma calha Parshall (medidor de vazão), apresentando dimensões padronizadas de acordo com a vazão do esgoto doméstico. A água é conduzida de modo forçado pela garganta estreita da calha, no qual o nível da água a montante é o indicativo da vazão a ser avaliada.

Para a determinação da altura máxima (Q_{max}), da altura mínima (Q_{min}) do medidor Parshall, assim como o rebaixamento (S) na cota da malha, cujas equações (9), (10) e (11) estão expressas abaixo, foram usados as informações contidas na Tabela 2.5 apresentada.

- **Altura máxima (Qmax):**

$Q_{max} = K \times H^n_{max}$ (m) (equação 09)

- **Altura mínima (Qmin):**

$Q_{min} = K \times H^n_{min}$ (m) (equação 10)

- **Rebaixamento (S):**

$Q_{max} / Q_{min} = (H_{min} – S) / (H_{max} – S)$ (m) (equação 11)

Observação: Tanto K quanto n são parâmetros tabelados de acordo com a vazão.

Tabela 2.5 - Dimensões padronizadas da calha Parshall (mm).

W (mm)	Vazões (l/s)		A	B	C	D	E	F	G	K'	N
	Mínima	Máxima									
76	0,85	53,8	466	457	178	259	381	152	308	25	57
152	1,52	110,4	621	610	294	393	457	305	610	76	114
229	2,55	251,9	880	864	380	575	610	305	457	76	114
305	3,11	455,6	1370	1340	601	845	915	610	915	76	229
457	4,25	696,2	1449	1420	762	1026	915	610	915	76	229
610	11,89	936,7	1525	1496	915	1207	915	610	915	76	229
915	17,26	1426	1677	1645	1220	1572	915	610	915	76	229
1220	36,79	1921	1830	1795	1525	1938	915	610	915	76	229
1525	62,80	2422	1983	1941	1830	2303	915	610	915	76	229
1830	74,40	2929	2135	2090	2135	2667	915	610	915	76	229
2135	115,4	3440	2288	2240	2440	3030	915	610	915	76	229
2440	130,7	3950	2440	2392	2745	3400	915	610	915	76	229

(Fonte: AZEVEDO NETO, 2008).

2.5.2) Tratamento primário

O tratamento primário dos esgotos objetiva-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e flutuantes. O efluente, agora no decantador, faz com que os sólidos em suspensão de maior peso contidos nos esgotos possam sedimentar e depositar no fundo do decantador, formando o que se chama de lodo primário.

O dimensionamento do decantador primário teve por base a área mínima, representada pela equação (12). A área mínima foi necessária para a determinação do volume do mesmo, sendo o mesmo apresentado pela equação (13) abaixo. Para isso, foi considerada uma taxa de escoamento superficial de 50 m³/m².dia, e um tempo de detenção de duas horas, conforme Jordão & Pessoa (2005).

- **Área mínima (A_{min}):**

$A_{min} = Q / T_x$ (m^2) (equação 12)

Onde:

Q = Taxa de escoamento superficial (m³/m².dia)

T_x = Tempo de detenção

- **Volume (V):**

$V = A_{min} \times h$ (m^3) (equação 13)

Onde:

h = profundidade (m)

2.5.3) Tratamento secundário

O tratamento secundário consiste na remoção da matéria orgânica biodegradável e eventualmente nutrientes, utilizando-se de processos biológicos. Estes podem ser aeróbios, anaeróbios ou facultativos, no qual ambos os processos ocorrem, sendo que em todos eles a atuação de microrganismos é mecanismo essencial.

Para a ETE – CRISTINA foi considerada dois mecanismos de tratamento secundário visando o aproveitamento do lodo para geração de energia via biogás e da biomassa resultante para produção de biofertilizantes.

Para ocaso da utilização do biogás com finalidades energéticas foi empregado o reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) porque este apresenta simplicidade operacional e baixo custo de implantação e manutenção, indo de encontro com as características econômicas do município. Além disso, cumpre a função de preservar a qualidade do ar e da água. A eficiência de tratamento é elevada, similar a de processos aeróbios, mas com custos reduzidos, pois, uma vez que grande parte da carga orgânica é retirada na etapa anaeróbia, a geração de lodo e a demanda de energia passam a ser bem menores que as de processos aeróbios convencionais (VON SPERLING, 2005). Cabe destacar que o tratamento de esgoto que utiliza UASB só é eficiente se não for necessário aquecer os reatores.

Para o dimensionamento do reator UASB da ETE – CRISTINA foram empregadas as equações (14), (15), (16), (17) e (18), conforme Jordão & Pessoa (2005).

- **Volume do digestor (V_{dig}):**

$V_{dig} = (Q_{lodo} * \theta_c) / n$ (m^3) (equação 14)

Onde:

Q_{lodo} = quantidade de lodo bruto (m^3/dia)

θ_c = tempo de detenção de sólidos no reator (dias)

- **Área (A):**

$A = V_{dig} * h$ (m^2) (equação 15)

Onde:

h = altura do digestor (m)

- **Parcela de DQO_{CH4} convertida em gás metano (DQO_{CH4}):**

$DQO_{CH4} = Q_{total} * ((S_o - S) - (V_{obs} * S_o))$ (equação 16)

Onde:

Q_{total} = Vazão de projeto (m^3/dia)

S_o = DQO afluente (mg/L)

S = DQO efluente (mg/L)

V_{obs} = coeficiente de produção de sólido em termos de DQO (Kg $_{DQO\ lodo}$ / Kg $_{DQO\ aplicada}$)

É necessário considerar a correção da temperatura operacional do reator, segunda a equação abaixo:

- **Fator de correção da temperatura operacional do reator (K(t)):**

$K(t) = P * K / R * (273 + T_{esgoto})$ (equação 17)

Onde:

P = Pressão atmosférica (atm)

K = COD correspondente a um mol de CH_4 (g DQO/mol)

R = Constante universal dos gases (atm.L/mol.K)

T_{esgoto} = Temperatura do esgoto (^oC)

Assim, pode-se determinar a produção volumétrica de metano, segundo equação a seguir:

- **Produção volumétrica de metano (Q_{CH4}):**

$Q_{CH4} = DQO_{CH4} / K(t)$ (equação 18)

Onde:

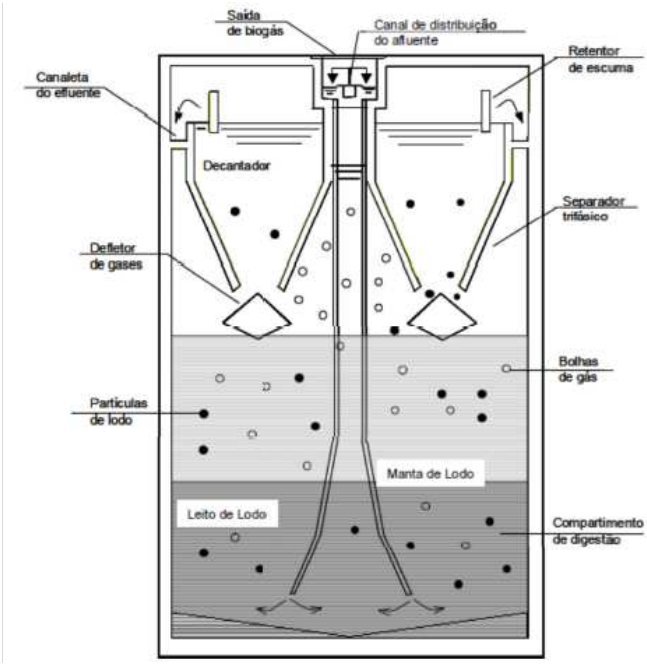
DQO_{CH4} = Parcela de DQO_{CH4} convertida em gás metano

K(t) = Correção da temperatura operacional do reator

Os processos físicos e bioquímicos ocorrem no perfil do reator, entre os níveis de entrada e saída do líquido. O perfil é caracterizado pela distribuição do lodo biológico, agente de tratamento. Próxima à zona inferior, este lodo é muito denso e com partículas de boa sedimentação, entretanto na zona inferior o lodo torna-se muito concentrado, recebendo a denominação de leito de lodo enquanto que a região mais acima, manta de lodo, conforme Chernicharo (1997).

A fim de que a biomassa não deixe o sistema com o afluente, aquela é removida na porção superior do reator, ocorrendo inclusive sua separação do biogás. O lodo por sua vez, é retirado por tubulações laterais na parte externa do reator, não sendo recomendada a retirada

do lodo da camada mais profunda, pois é ai que se concentra as reações biológicas. A Figura 2.2 abaixo esquematiza um reator anaeróbio UASB.



(fonte: VERSIANI, 2005)

Figura 2.2 – Representação de um reator UASB.

Com relação à lagoa facultativa simples (não aerada), os processos aeróbios (superfície) e anaeróbios (fundo) ocorrem conjuntamente, tendo que a associação dos dois processos é extremamente vantajosa. A eficiência de tratamento é elevada, similar a de processos aeróbios, mas com custos reduzidos, pois, uma vez que grande parte da carga orgânica é retirada na etapa anaeróbia, a geração de lodo e a demanda de energia passam a ser bem menores que as de processos aeróbios convencionais (VON SPERLING, 2005).

Neste processo, o esgoto afluente entra continuamente em uma extremidade da lagoa e sai continuamente na extremidade oposta. Ao longo deste percurso, que demora vários dias, uma série de eventos contribui para a purificação dos esgotos. Parte da matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo. Este lodo sofre processo de decomposição por microrganismos anaeróbios. A matéria orgânica dissolvida, conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões, não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida, onde sua decomposição se dá por bactérias facultativas, que têm a capacidade de sobreviver tanto na presença, quanto na ausência de oxigênio (COPASA, 2015).

A lagoa facultativa do projeto foi dimensionada seguindo a equação (19) abaixo representada, de acordo com Von Sperling (1996). Para a determinação da carga orgânica afluente de DBO foi necessário utilizar a vazão inicial de projeto bem como a DBO de entrada do esgoto.

- **Carga orgânica afluente de DBO (C):**

$C = DBO_{entrada} \times Q_i$ (Kg/dia) (equação 19)

Onde:

$DBO_{entrada}$ = DBO de entrada do esgoto (mg/L)

Q_i = Vazão inicial de projeto (L/s)

A área da lagoa de estabilização foi determinada utilizando-se a equação (20) abaixo, adotando-se a taxa de aplicação segundo Von Sperling (1996):

- **Área da lagoa de estabilização (A):**

$A = C / T_a$ (m^2) (equação 20)

Onde:

T_a = Taxa de aplicação (Kg/dia.m^2)

Uma vez calculada a área da lagoa, foi possível determinar o volume total, através da equação (21) abaixo:

- **Volume total (V):**

$V = A \times h$ (m^3) (equação 21)

Onde:

A = Área da lagoa de estabilização (m^2)

h = altura (m)

Assim, finalmente determinou-se o tempo de detenção do efluente na lagoa projetada, conforme equação (22) abaixo:

- **Tempo de detenção (Td):**

$T_d = V / Q_i$ (dias) (equação 22)

Onde:

V = Volume total (m^3)

Q_i = Vazão inicial de projeto (m^3/dia)

2.5.4) Tratamento e destinação do lodo gerado

Uma vez que a quantidade de lodo produzida é muito grande e também devido à demora na retirada desse material da lagoa de estabilização, será necessário desidratá-lo em leitos de secagem.

Cabe destacar que dentro do reator é gerada uma biomassa que será, juntamente com o composto orgânico resultante da lagoa facultativa, destinada a agricultura através da produção de biofertilizante. Para ambos os casos, o composto resultante é destinado ao leito de secagem com o intuito de preservar a matéria orgânica e eliminar os patógenos. Através da secagem térmica, teores de sólidos da ordem de 90 a 95% são obtidos, reduzindo significativamente o volume do lodo gerado, melhorando suas condições de manejo.

Para estimar a produção de lodo, foram utilizadas as equações (23), (24) e (25) abaixo descritas:

- **Carga média de DQO aplicada ao sistema (L_o):**

$L_o = S_o * Q_{total}$ (Kg/dia) (equação 23)

- **Produção de sólidos no sistema (P_{lodo}):**

$P_{lodo} = Y \times L_o$ (equação 24)

Onde:

Y = coeficiente de produção de sólidos (0,15 Kg $_{SST}$ / Kg $_{DQO\ aplicada}$)

C_{op} = Quantidade de dias de ciclo de operação

- **Volume de lodo (V_{lodo}):**

$V_{lodo} = P_{lodo} / (G * C)$ (m^3) (equação 25)

Onde:

G = densidade do lodo (Kg/m^3)

C = concentração do lodo (%)

O dimensionamento do leito de secagem foi feito através das equações (26), (27), (28) e (29) abaixo descritas, conforme Jordão & Pessoa (2005):

- **Cálculo do volume de lodo afluente (V):**

$V = M / 10C$ (m^3) (equação 26)

Onde:

M = Massa do lodo final (Kg)

C = Produção de lodo

- **Volume gerado por ciclo (V_C):**

$V_c = V \times C_{op}$ (m^3) (equação 27)

Onde:

V = Volume do lodo afluente (m^3)

C_{op} = Quantidade de dias de ciclo de operação

- **Área de secagem (A_s):**

$A = V_c / h$ (m^2) (equação 28)

Onde:

V_c = Volume gerado por ciclo (m^3)

h = Altura de carregamento (m)

- **Taxa de aplicação resultante (T_x):**

$Tx = M \times C_{op} / A$ (equação 29)

Onde:

M = Massa do lodo final (Kg)

C_{op} = Quantidade de dias de ciclo de operação (dias)

A = Área de secagem (m^2)

2.6) Sistema de captação e utilização do biogás para geração de energia

O sistema de geração de energia, a partir do biogás, produzido por processos físicos, químicos e microbiológicos ocorridos na biodigestão do lodo de ETEs, é composto essencialmente por captação do gás, processamento e conversão do gás.

Para o cálculo da estimativa da emissão de biogás/ano gerado no biodigestor na ETE – CRISTINA bem como a estimativa da geração de energia elétrica no sistema, será considerada o modelo **Biogás, geração e uso energético – efluentes / resíduo rural, versão 1.0**. Este modelo busca a simplificação da produção de biogás considerando poucas variáveis. Trata-se de um programa desenvolvido com apoio do Governo Federal com o intuito de estimar as emissões de biogás e as quantidades de energia disponíveis pela recuperação e uso do mesmo em estações de tratamento anaeróbio. Gera resultados que servirão de base o processo de obtenção de informações sobre o uso energético do biogás.

Para a ETE – CRISTINA o biogás será empregado no processo de secagem e higienização do lodo secundário a fim de eliminar a umidade existente no biossólido.

Cabe destacar que a falta de leis que impulsionem o mercado, por intermédio de políticas de incentivo tarifário e/ou subsídios e o fato de alguns equipamentos e produtos específicos não são nacionais favorecem a baixa utilização desse sistema de geração de energia.

3) Resultados e discussão

Para a determinação do dimensionamento da ETE – CRISTINA foram definidos os principais itens do projeto além de suas dimensões.

3.1) Previsão da população

Os valores obtidos para a projeção populacional através do método supracitado estão apresentados na Tabela 3.1 com o intuito de se determinar qual a taxa de crescimento populacional do município de Cristina/MG.

Tabela 3.1 - Projeção da população para a cidade de Cristina, MG, baseado no crescimento populacional de Minas Gerais.

ANO	PA	ANO	PA
2016	10221	**2025**	10727
2017	10277	**2026**	10783
2018	10334	**2027**	10840
2019	10390	**2028**	10896
2020	10446	**2029**	10952
2021	10502	**2030**	11008
2022	10558	**2031**	11065
2023	10615	**2032**	11121
2024	10671	**2033**	11177
2025	10727	2034	11233
2026	10783	2035	11290

A tendência de crescimento populacional da cidade de Cristina, conforme Figura 3.1 foi positiva, apresentando como taxa de crescimento anual o valor de 0,5.

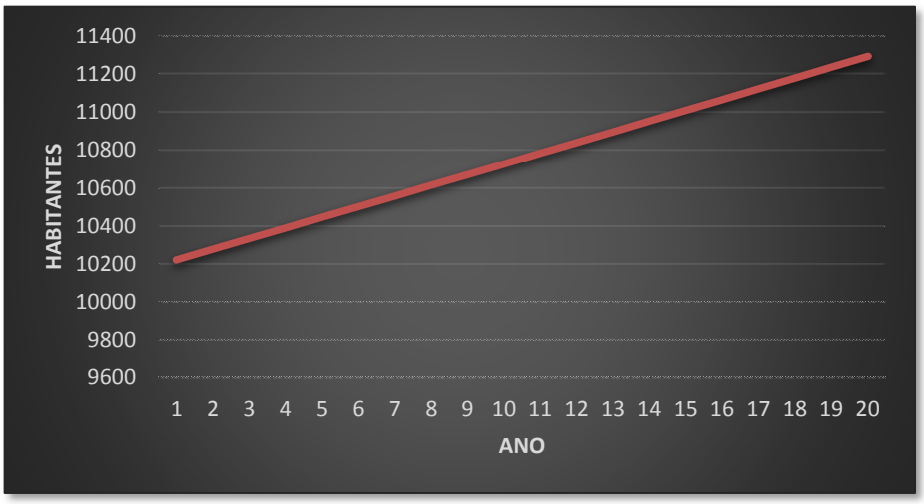


Figura 3.1 - Projeção populacional total do município de Cristina, MG.

3.2) Estimativa da vazão de esgoto

As vazões de esgoto foram determinadas em relação à estimativa da população contribuinte à rede coletora. A população total estimada para o ano de 2035, de acordo com o método aritmético, será de 11.290 habitantes.

Na Tabela 3.2, estão apresentadas as vazões de projeto calculadas, utilizadas para o planejamento do sistema de tratamento de esgotos.

Tabela 3.2 – Vazões de esgoto estimadas para o município de Cristina – MG.

PARÂMETRO	VALOR
Vazão doméstica	1524,15 m^3/dia
Vazão de infiltração	1500,03 m^3/dia
Vazão total	3024,18 m^3/dia

3.3) Tratamento preliminar

Para o gradeamento grosso, serão empregadas grades de ferro e aço, dispostas paralelamente, inclinadas com um ângulo de 45^0. Estas, conforme já mencionado, removerão os sólidos grosseiros maiores que 40 mm. Esta grade terá espessura entre barras de 9,5 x 50,0 mm, uma altura de 0,70m, e largura total desse sistema 0,20m.

O gradeamento fino, cuja função será remover sólidos finos, terá um menor espaçamento entre as barras, retendo resíduos maiores do que 12 mm. Porém, sua inclinação será de 60°, com espessura entre barras de 6,4 x 33,1 mm. As grades terão altura máxima de 0,70m e largura mínima de 0,20m.

A caixa de areia é dimensionada função da taxa de escoamento superficial. A Tabela 3.3 a seguir representa os valores determinados para o comprimento, a largura bem como a área da caixa de areia projetada, considerando para os cálculos tempo de detenção do efluente de 60 segundos, com velocidade horizontal de 0,30 m/s, e velocidade de sedimentação de 0,75 m/s para partículas de 15 mm de diâmetro.

Tabela 3.3 – Dimensionamento da caixa de areia para a ETE – CRISTINA.

PARÂMETRO	VALOR
Largura	14,60 m
Comprimento	9,69 m
Área	141,47 m^2

Para a calha Parshall, adotaram-se os valores de 0,176 e 1,547 para K e N, respectivamente, segundo os dados contidos na Tabela 2.5, citada anteriormente, conforme

Azevedo Neto *et al* (1998). Assim, foram determinados os seguintes parâmetros de dimensionamento, apresentados na Tabela 3.4 abaixo:

Tabela 3.4 – Dimensionamento da calha Parshall para a ETE – CRISTINA.

PARÂMETRO	VALOR
Hmáx	0,513 m
Hmín	0,224 m
S	0,112 m

3.4) Tratamento primário

Considerando uma taxa de escoamento superficial de 50 m³/m². dia, vazão média de 3024 m³/dia e admitindo-se um tempo de detenção de 2 horas, foi determinada a área do decantador primário, cujos valores estão apresentados Tabela 3.5:

Tabela 3.5 - Dimensionamento do decantador primário para a ETE – CRISTINA.

PARÂMETRO	VALOR
Área do decantador	60,5 m²
Volume do decantador	272,25 m³
Profundidade	4,20 m
Largura útil	5,5 m
Comprimento útil	11 m

Vale destacar que o decantador primário aqui apresentado terá formato retangular e os sólidos sedimentáveis no fundo do decantador serão continuamente raspados direcionados ao reator UASB.

3.5) Tratamento secundário

Os parâmetros dimensionados para a lagoa facultativa consideraram vazão de projeto de 3024,18 m^3/dia, DBO_{total} de entrada de 171,5 mg/L, taxa de aplicação estimada em 160 Kg de DBO_5/ha.dia e adotando uma altura padrão de 2 metros. A Tabela 3.6 a seguir apresenta os valores dos parâmetros da lagoa facultativa:

Tabela 3.6 - Dimensionamento da lagoa facultativa para a ETE – CRISTINA.

PARÂMETRO	VALOR
Carga afluente de DBO	518,6 Kg/dia
Área da lagoa	32400 m²
Volume total	64800 m³
Tempo de detenção	22 dias

Primeiramente, foi determinado o volume de lodo produzido bem como a produção real de metano produzido considerando taxa de aproveitamento de 60%, DQO afluente igual a 550mg/L, DQO efluente de 165mg/L, fator de correção da temperatura operacional de 2,63 Kg_{DQO}/m^3, coeficiente de produção de sólidos em termos de DQO igual 0,16 $Kg_{DQOLodo}/Kg_{DQOaplicada}$ e coeficiente de produção de lodo de 0,15 $Kg_{SST}/Kg_{DQOaplicada}$. Os resultados encontram-se na Tabela 3.7 a seguir:

Tabela 3.7 – Avaliação da produção de lodo e volume de Metano da ETE – CRISTINA.

PARÂMETRO	VALOR
Volume de lodo	6,99 m^3/dia
Produção real de metano	273,21 m^3/dia

Em seguida, o reator UASB da ETE – CRISTINA foi dimensionado considerando altura equivalente a 3,0 m e 30 dias de tempo de retenção hidráulica, sendo que serão duas unidades do sistema. Ele terá geometria retangular. Para o dimensionamento do reator UASB, os resultados estão apresentados na Tabela 3.8 abaixo:

Tabela 3.8 - Dimensionamento de um reator UASB para a ETE – CRISTINA.

PARÂMETRO	VALOR
Volume	209,7 m^3
Área ocupada	69,90 m^2

Serão necessários dois reatores, entretanto como o volume total para o final do horizonte de 20 anos de projeto tende a aumentar consideravelmente, será necessário dobrar a capacidade do sistema, passando este a operar com 4 reatores.

3.6) Leito de secagem

A fim de utilizar a torta de lodo para a produção de biofertilizantes resultante tanto do biodigestor como da lagoa facultativa, a mesma será encaminhada para o leito de secagem.

Para a ETE – CRISTINA será considerado apenas um leito de secagem, com dimensões de 20 x 4,90 x 0,5 m, na qual 0,2 m da altura considerada será destinado a borda livre e 0,3 da mesma, a altura do nível do leito. Para que o lodo fique homogeneamente distribuído, será construído um distribuidor do afluente apresentando este, paredes de alvenaria e tubos de aço galvanizado para distribuição do lodo. A fim de aumentar a eficiência

de secagem e higienização do mesmo, tubos de cobre irão compor o sistema, sendo que estes estarão bem no fundo do leito distribuindo calor por todo sistema. Além disso, objetivando isolar o biossólidos da água da chuva e ainda funcionar como uma estufa favorecendo também processo de secagem e higienização do mesmo, uma estufa plástica envolverá todo o leito. Os parâmetros determinados para o dimensionamento do leito de secagem estão apresentados na Tabela 3.9 a seguir:

Tabela 3.9 - Dimensionamento do leito de secagem para a ETE – CRISTINA.

PARÂMETRO	VALOR
Volume de lodo	6,99 m^3/dia
Volume gerado por ciclo	48,93 m^3
Área do leito de secagem	97,86 m^2

Finalmente, a Figura 3.2 figura abaixo apresenta o fluxograma da ETE-CRISTINA proposto para o projeto construtivo da mesma para o município de Cristina-MG.

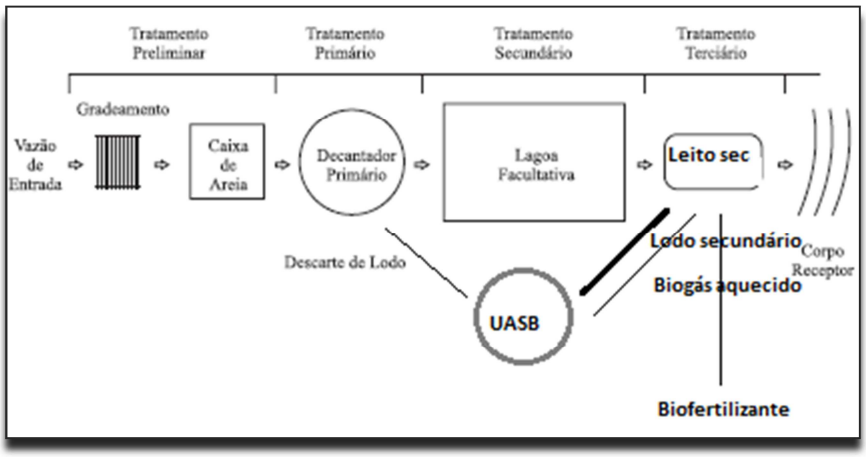


Figura 3.2 – Fluxograma da ETE – CRISTINA.

3.7) Estimativa da emissão de biogás e potência

Através do modelo Biogás, geração e uso energético – efluentes / resíduo rural, versão 1.0, foi gerado o gráfico apresentado na Figura 3.3 que relaciona a vazão de CH_4 com o tempo.

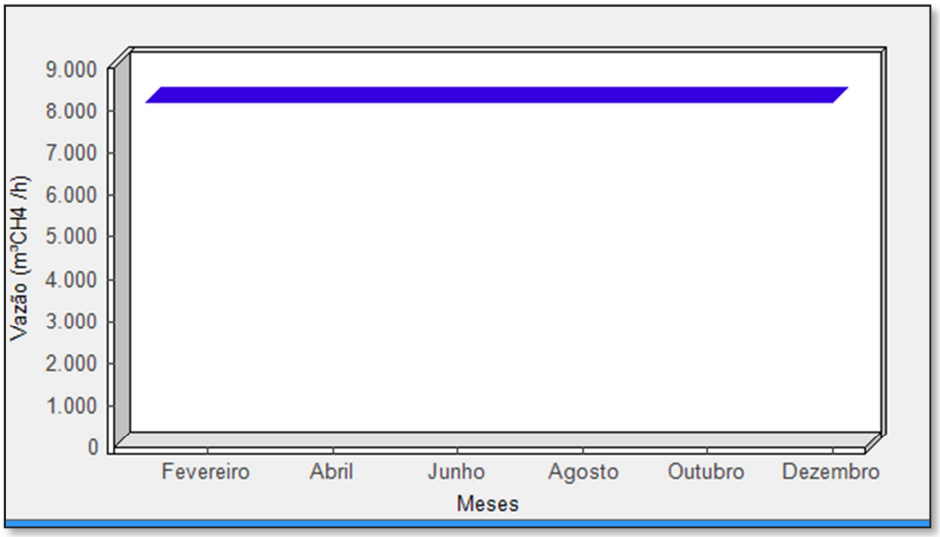


Figura 3.3 – Vazão de metano estimada para a ETE – CRISTINA.

Para este estudo, foi adotada a taxa de captação do biogás 60% e o fator de capacidade de 80%. Embora o objetivo do projeto seja a utilização do metano para promover a secagem lodo secundário para posterior utilização como biofertilizante, estimou-se a potência gerada a partir do biogás, a título de ilustração, conforme Figura 3.4.

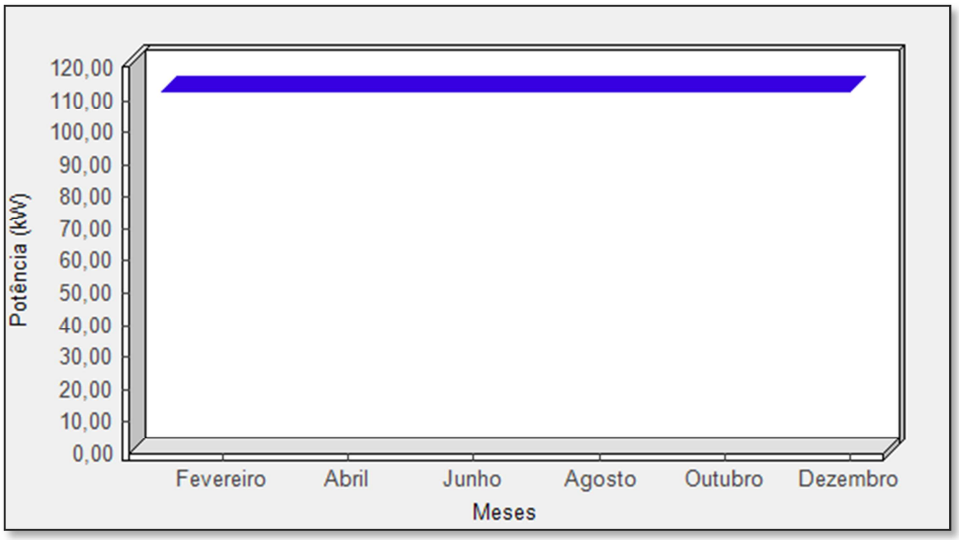


Figura 3.4 – Estimativa da potência gerada a partir do biogás gerado na ETE – CRISTINA.

4) Conclusões

É viável a implantação de uma estação de tratamento de esgoto simples para municípios de pequeno porte, devido à facilidade de operação e baixo custo de implantação.

Nota-se que à medida que novas ETE's forem implantadas no país, a geração de lodos aumentará em grandes proporções. Assim, o aproveitamento e/ou à geração de energia nas próprias ETEs contribuirá para a redução de emissão de gases do efeito estufa, trazendo assim, além do benefício econômico, sustentabilidade ambiental às empresas de saneamento.

O lodo secundário poderá ser utilizado como fertilizante agrícola uma vez que a economia do município tem por base a agricultura. Entretanto, recomenda-se analisar com mais afinco e com base na legislação do país aspectos referentes a composição final do lodo gerado na estação de tratamento de esgotos, para verificar o seu possível uso na agricultura.

Recomenda-se que este trabalho posso ser ampliado e que o mesmo venha a ter continuidade de modo a contemplar, além dos aspectos técnicos enfocados, uma abordagem específica sobre custos e de acordo com outros pontos de vista como o socioambiental, o normativo e o institucional.

5) Agradecimentos

O autor agradece a **CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (DS - CAPES).**

6) Referências

ANDREOLI, Cleverson Vitório. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final Rio de Janeiro** : RiMa, ABES, 2001.

AZEVEDO NETO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. 8ª Ed. – Ed Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1998.

CAMPOS, J.R. (coordenador) - **"Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo";** FINEP/PROSAB, 1999 apud JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. (2005). **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 4. ed., 932p.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HAANDEL, A.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. Capítulo 1: Introdução. 12p. In: CHERNICHARO, C. A. L. (coordenador). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2001.

COELHO, S. T.; SILVA, O. C.; VARKULYA JUNIOR, A.; AVELLAR, L. H. N.; FERLING, F. F. **Estado da arte do biogás**. In: Relatório de Acompanhamento. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro, 2002. 98p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Control of pathogens and vector atraction in sewage sludge under 40 CFR Part 503**.Washington, DC: Offi ce of Water, Offi ce of Science and technology Sludge Risk Assessment Branch, 2009. 147p.

FRANÇA JUNIOR, A. T. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto**. 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª ed.- ABES, Rio de Janeiro, 2005.

KATO, M. T.; ANDRADE NETO, C. O.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. Capítulo 3: Configurações de Reatores Anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 1999. p. 53-99.

_____. **Contagem populacional de 2007:** Tabela 793 - População residente. 2007. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 de abril de 2015.

_____. **Censo 2010. 2010a**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatisticas/população/censo2010/tabelas_pdf/total_população_minas_gerais.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2015.

_____. **Pesquisa Nacional do Saneamento Básico 2000**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **Pesquisa Nacional do Saneamento Básico 2008**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE. Rio de Janeiro, 2010b.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2009**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE. Rio de Janeiro, 2009.

_____.**PIB per capita a preços correntes 2008**. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/comparamun/compara.php?codmun=317220&coduf=31&tema=pibmunic&codv=v06&lang=>. Acesso em: 10 de abril de 2015.

SCHULTZ, Guilherme. Boas **Práticas Ambientais na Suinocultura**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007. 4 p.

TOMAZ, P. **Caixa de retenção de óleos e sedimentos**. 2005. Disponível em: <http:// ww.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/NormaAguaDeChuva/NormaDownloads/ Capitulo07-Captaaodeoleosegraxas.pdf> Acesso em: 15 de abril 2015.

VERSIANI, Betina M. **Desempenho de um Reator UASB Submetido a Diferentes Condições Operacionais Tratando Esgotos Sanitários do Campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro** . 2005. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** v. 1 Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais , Ed. DESA-UFMG, 2. ed.; p. 243, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v. 1, 2005. 452p.