



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

CAMILA SAIKI

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM A UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTORES DE
ESGOTO SANITÁRIO E SEU IMPACTO NA ECONOMIA E NO MEIO AMBIENTE
DENTRO DO CONTEXTO DE UMA CIDADE SUSTENTÁVEL

BRASÍLIA

2018



CAMILA SAIKI

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM A UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTORES DE
ESGOTO SANITÁRIO E SEU IMPACTO NA ECONOMIA E NO MEIO AMBIENTE
DENTRO DO CONTEXTO DE UMA CIDADE SUSTENTÁVEL

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Álvaro Bittencourt H. Silva

BRASÍLIA

2018

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM A UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTORES DE ESGOTO SANITÁRIO E SEU IMPACTO NA ECONOMIA E NO MEIO AMBIENTE DENTRO DO CONTEXTO DE UMA CIDADE SUSTENTÁVEL

Camila Saiki – UniCEUB, PIBITI-CNPq, aluno bolsista

mia.saiki@sempreceub.com

Álvaro Bittencourt Henrique Silva – UniCEUB, professor orientador

alvaro.silva@ceub.edu.br

Esse projeto visou desenvolver a estação de tratamento biológico sanitário de dejetos domésticos para reaproveitamento energético de resíduos de esgoto, com o objetivo de diminuir o impacto ambiental e também gerar biogás e energia elétrica que supram as necessidades de uma cidade sustentável, observando sua demanda, comparando custos de energia elétrica com a implantação do biodigestor e usando apenas a companhia de energia elétrica em Brasília. Num primeiro momento foi feito um estudo teórico acerca dos biodigestores existentes e sua eficiência, por conseguinte foi feito o estudo sobre esgoto e seu impacto nas cidades. O intuito era agregar este projeto com o projeto de pesquisa das alunas da professora Eliete de Pinho Araújo intitulado de "Cidade eficiente e sustentável" que tinha Brasília como seu modelo, porém, seu projeto de pesquisa estava inconcluso, logo, utilizei apenas os dados da ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) da cidade de Brasília para este projeto. Técnica e viabilidade de produção sintetizado a partir de resíduos sólidos provenientes das habitações a partir dos dados. Foi feito também um biodigestor teste com os poucos recursos materiais que se foi possível utilizar e muitos dos materiais foram cedidos pelo próprio professor orientador, estudo dos modelos e viabilidade econômica. O estudo, por fim, mostra que o uso de biodigestores é uma possível solução para o problema da destinação dos resíduos sólidos, ao mesmo tempo que produz biogás e energia elétrica, e como que a aplicação do modelo, teoricamente, melhora na economia e qualidade de vida da população.

Palavras-Chave: Biodigestor. Biogás. Cidade. Esgoto.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu professor orientador pela paciência e disponibilidade, à minha instituição de ensino UniCEUB que me proporcionou a oportunidade de estar realizando esse projeto, aos meus pais e família pelo apoio de sempre e em tudo na vida, meus amigos que foram minha válvula de escape pra não surtar e jogar tudo pro alto antes do tempo e à Deus por estar ali zelando do que não temos controle.

SUMÁRIO

1. Introdução	6
2. Objetivos	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.1 Objetivo Específico	10
3. Fundamentação Teórica	12
3.1 Tipos de Biodigestores	12
3.2 Química dos dejetos	14
3.2.1 Humano	14
3.2.2 Suíno	15
3.2.3 Bovino	16
4. Metodologia	17
4.1 Localização ETE norte e sua regiões administrativas	17
4.2 Metodologia de estudo	18
4.2.1 Esgoto	18
4.2.2 Biogás, lodo e energia	20
4.2.2.1 Biogás e biofertilizante	20
4.2.2.2 Lodo	20
4.2.2.3 Energia	21
4.2.3 Comparativo Energético	22
4.2.4 Protótipo alternativo para teste	22
5. Resultados e Discussão	26
6. Conclusão	27
7. Referências Bibliográficas	28

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de resíduos de esgoto doméstico é uma deficiência presente no mundo, e que se faz muito importante não somente para questões de saneamento básico, mas também como uma oportunidade de pesquisa para reaproveitamento desses resíduos na geração de energia elétrica. Conforme citado no website <http://www.portalresiduossolidos.com/quem-produz-mais-lixo-no-mundo/> (último acesso em 31/07/2018) “O total mundial de resíduos sólidos produzidos da população urbana é de 1,3 bilhões de toneladas por ano, equivalente a 1,2Kg por dia para cada habitante da cidade. As previsões são que esse valor vai subir para 2,2 bilhões de toneladas até 2025”.

Tendo em vista a diminuição do impacto ambiental trazida pelo descontrole e grande volume de lixo produzido pela população, o emprego atual de biodigestores vem como uma alternativa sustentável e de baixo impacto ambiental para colaborar com esse problema.

O Biodigestor constitui-se numa câmara fechada onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa, onde sofre decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara (Deganutti, 2004). Com exceção dos tubos de entrada e saída, o biodigestor é totalmente vedado, criando um ambiente anaeróbio (sem a presença de oxigênio) onde os micro-organismos degradam o material orgânico, transformando-o em biogás e biofertilizante. A transformação da matéria orgânica em gás é possível pela sua fermentação anaeróbia (sem a presença do ar). Este processo pode ser dividido em três estágios com três distintos grupos de microrganismos (figura 1). O primeiro estágio envolve bactérias fermentativas, compreendendo microrganismos anaeróbios e facultativos. Neste estágio, materiais orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) são hidrolizados e fermentados em ácidos graxos, álcool, dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e sulfetos. As bactérias acetogênicas participam do segundo estágio, consumindo os produtos primários e produzindo hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético. Dois grupos distintos de bactérias metanogênicas participam do terceiro estágio, o primeiro grupo reduz o dióxido de carbono a metano e o segundo descarboxiliza o ácido

acético produzindo metano e dióxido de carbono. Apesar de parecer complexo, este processo de fermentação ocorre naturalmente e continuamente dentro do biodigestor, desde que o sistema for manejado corretamente. (WINROCK, 2005)

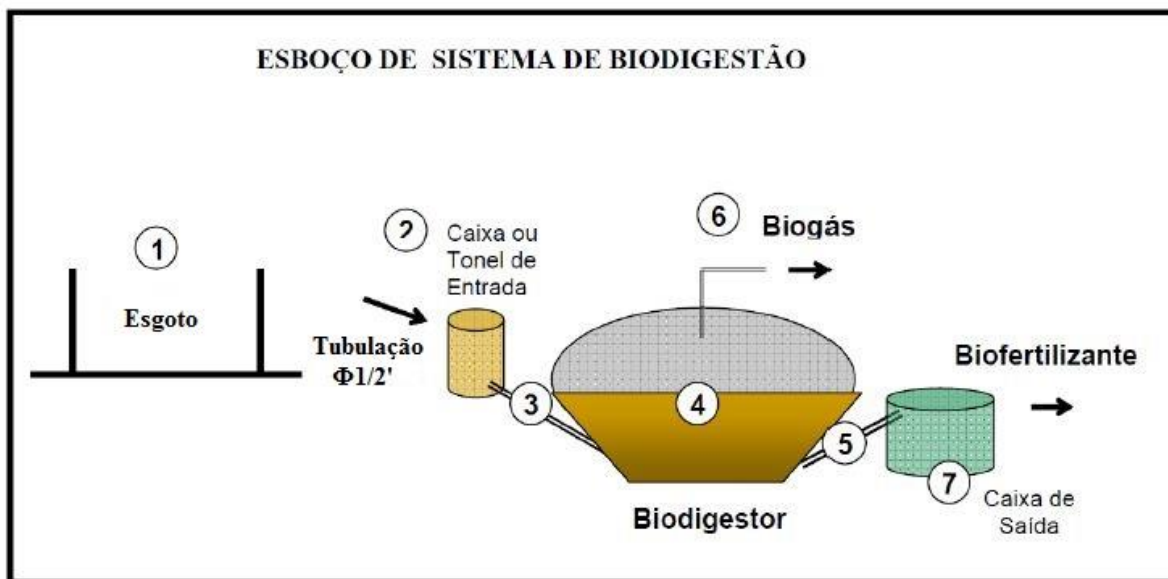


Figura 01: Esquemática de biodigestor tubular. (Adaptado de WINROCK, 2005)

O sistema de biodigestão é composto por:

1. Caixa de Esgoto
2. Caixa ou tonel de entrada, onde o dejetos é misturado com água antes de descer para o biodigestor.
3. Tubulação de entrada, permitindo a entrada da mistura ao interior do biodigestor.
4. Biodigestor – revestido e coberto por emborrachado de câmara de ar.
5. Tubulação de saída de biofertilizante, levando o material líquido já fermentado à caixa de saída.
6. Tubulação de saída de biogás, canalizando-o para fogão, motor, etc.
7. Caixa de Saída

Algumas das vantagens da digestão anaeróbia são: alta redução de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), produção de biofertilizante, pequena produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento, e possibilidade de sistemas descentralizados de tratamento de resíduos (OLIVEIRA, 2004). O biogás gerado por essa digestão anaeróbia passa por uma tubulação e alimenta uma turbina gerando energia elétrica. Esse é um mecanismo que vem como uma alternativa para reaproveitamento dos resíduos sólidos.

O gás metano (CH_4) quando liberado na atmosfera pode causar grande impacto ambiental, agravando inclusive o efeito estufa. O metano é um gás inodoro, mais leve que o ar, asfíxiante, inflamável e explosivo, requerendo extremo cuidado no seu manejo.

Concentrações acima de 500 mil ppm provocam dores de cabeça em humanos (USDA, 1994, citado por PERDOMO et al., 2001). Nos dias de hoje, parte do biogás gerado pela rede de tratamento de esgoto é queimado e o dióxido de carbono (CO_2) liberado por essa combustão é injetado nos biodigestores. Uma alternativa para essa queima é conversão de biogás em energia elétrica através da queima em microturbinas, tecnologia já utilizada pela empresa Capstone (EUA).

O Biogás é composto principalmente por metano (60 a 80%) e dióxido de carbono e é um produto gerado na natureza, encontrado em regiões pantanosas ou onde a celulose sofre naturalmente a decomposição. É produto da fermentação anaeróbia de dejetos animais, resíduos vegetais e de lixo orgânico.

1 m³ de biogás corresponde 0,61 litros de gasolina

0,57 litros de querosene

0,55 litros de óleo diesel

0,45 kg de gás liquefeito

0,79 litros de álcool combustível

1,538 kg de lenha

1,428 kwh de energia elétrica

Para uma família de 5 (cinco) pessoas em termos de uso caseiro temos:

Para a cozinha 2,10 m³

Para iluminação 0,63 m³

Para geladeira 2,20 m³

Para banho quente 4,00 m³

Total de biogás necessário 8,93 m³ (por dia)

Essa quantidade de gás corresponde a $\frac{1}{4}$ de um bujão de gás de 13 kg e pode ser obtida com a produção de esterco de 20 a 24 bovinos (Deganutti, 2004).

Esse aproveitamento energético dos resíduos pode representar importante papel no âmbito do desenvolvimento de alternativas favoráveis ao meio ambiente, visto que pode trazer uma solução barata e portátil para um problema urbano global.

O presente trabalho apresenta um mecanismo de biodigestor desenvolvido para uma cidade sustentável visando o aproveitamento máximo dos resíduos sólidos como uma importante contribuição não somente para a geração de energia elétrica da cidade, mas também para o reaproveitamento de matéria orgânica urbana.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

A utilização de um biodigestor num sistema urbano tem vários benefícios ambientais e socioeconômicos.

Além do aproveitamento de biomassa para produção de fertilizante e biogás gerando benefícios ao rendimento agrícola (WINROCK, 2005), o biodigestor pode colaborar reduzindo a emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE), com a preservação da flora e da fauna (servindo como substituinte da lenha, reduzindo a necessidade do corte de árvores) e com a redução dos odores provenientes da decomposição de dejetos sob manejo inadequado.

O biofertilizante oriundo do biodigestor pode ser usado como adubo na produção de forragem para os animais e de alimentos para as pessoas, contribuindo para o rendimento agrícola. Essa qualidade se dá na redução do teor de carbono do material (pois libera o carbono na forma de metano e dióxido de carbono), nos aumentos no teor de nitrogênio e demais nutrientes em virtude da liberação do carbono, na solubilização parcial de alguns nutrientes tornando-os mais disponíveis às plantas, na possibilidade de utilização no controle de pragas e doenças de culturas agrícolas e também na melhoria das condições de higiene para os animais e as pessoas.

Do ponto de vista socioeconômico, o biogás gerado pelo biodigestor gera economia de óleo diesel e lenha, reduz a demanda de produção e distribuição de energia elétrica e permite o máximo aproveitamento dos recursos e integra as atividades rurais.

Além disso, do ponto de vista tecnológico, o emprego de biodigestores em sistemas urbanos aliado à pesquisa acadêmica sistemática tende a trazer simplificações, barateamento e avanços quanto ao aproveitamento máximo do biogás produzido.

2.2 Objetivo Específico

Esse projeto visa o estudo de caso na produção de metano do esgoto doméstico e quanto deste pode ser reaproveitado, contribuindo assim para uma cidade mais sustentável.

Desenvolver um protótipo do dispositivo sanitário com o intuito de entender o mecanismo do aparelho e visando a geração dos gases.

Cálculo da demanda energética relativo ao esgoto produzido pela ETE norte localizado na SCEN Trecho 03, Asa Norte, Brasília-DF, para a produção energética.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 TIPOS DE BIODIGESTORES

Segundo artigo publicado por Deganutti em 2004, três tipos de biodigestores foram comparados quanto às suas eficiências energéticas. O autor apresentou um modelo indiano, um modelo chinês e um modelo de batelada.

O modelo indiano (Figura 02) é caracterizado por possuir um dispositivo que funciona como gasômetro (o qual pode estar mergulhado sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, esta característica reduz as perdas durante o processo de produção do gás) e uma parede central que garante que o material circule pelo interior da câmara de fermentação. Esse modelo opera com pressão constante e o gás produzido não é consumido imediatamente, visto que o gasômetro mantém a pressão do interior constante por se deslocar verticalmente.

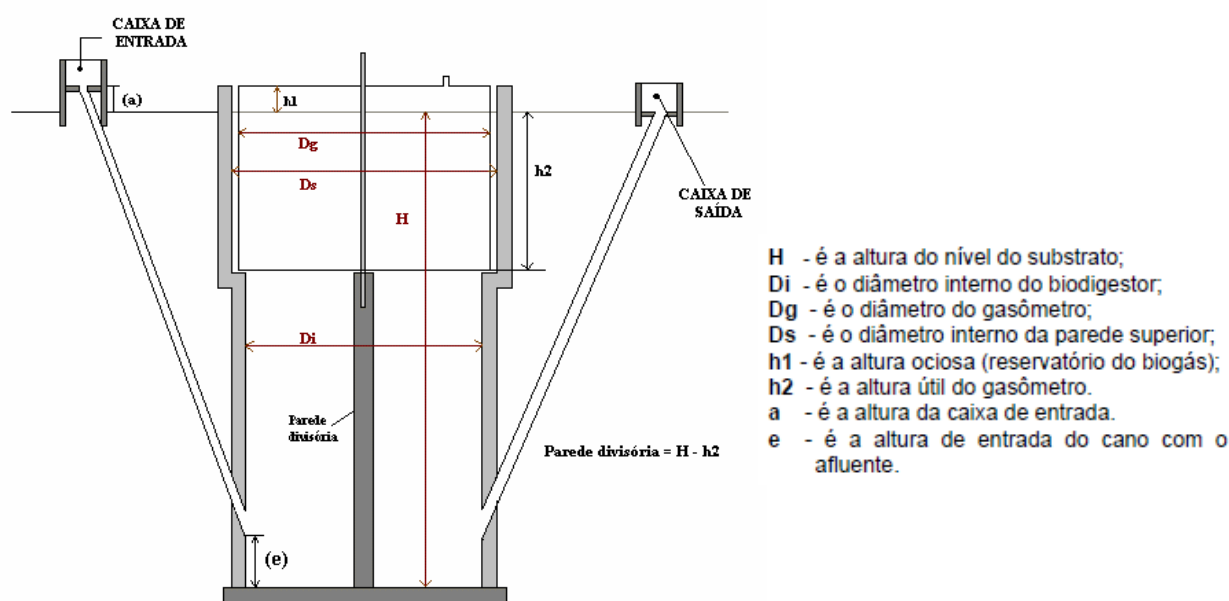


Figura 02: Biodigestor modelo indiano (Deganutti, 2004)

O modelo chinês (Figura 03) é formado por uma câmara cilíndrica de tijolos para fermentação com teto abobadado (impermeável) para armazenamento do biogás. Funciona como uma prensa hidráulica, de forma que o acúmulo de biogás resulta no deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre a descompressão. Esse biodigestor, apesar de dispensar o uso de um gasômetro

(reduzindo os custos), pode ocasionar problemas com vazamento do biogás caso a vedação não seja adequada, e mesmo assim uma parcela do biogás formado na caixa de saída é liberado para a atmosfera, por isso não pode ser utilizada em instalações de grande porte.

Igualmente para os dois modelos, o fornecimento do substrato deve ser mantido constante, com concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e colaborar para a circulação do material.

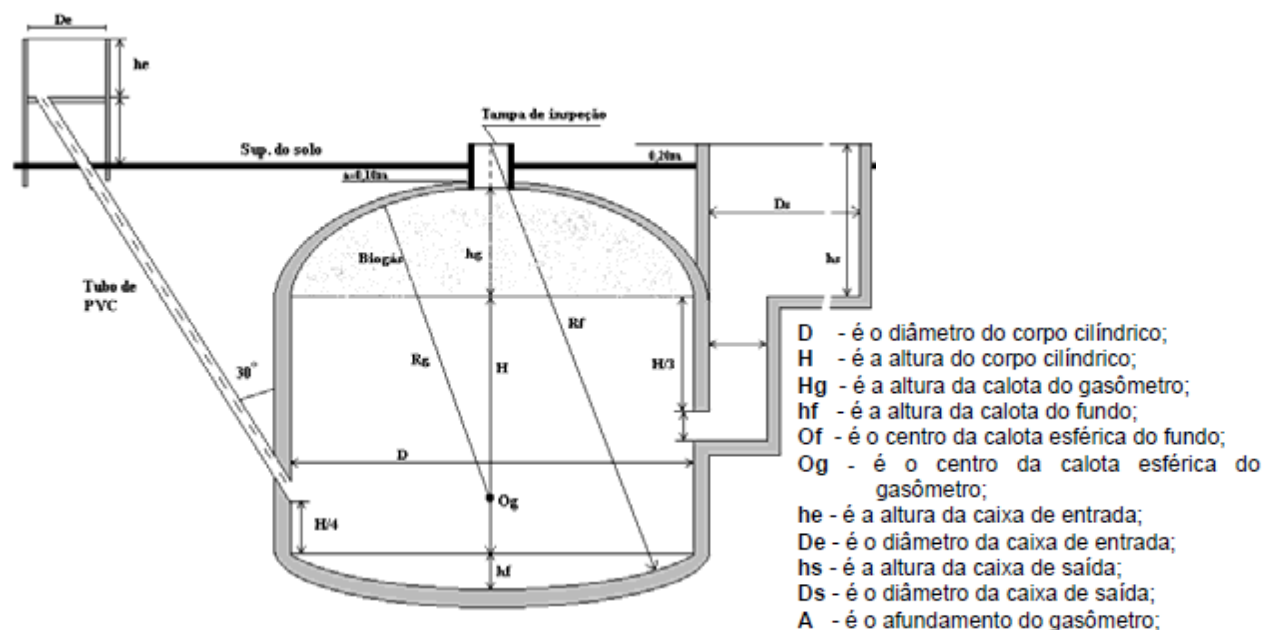


Figura 03: Biodigestor modelo chinês (Deganutti, 2004)

Apesar das diferenças estruturais, os dois modelos apresentados têm desempenho semelhante, conforme mostra a Tabela 01.

		Biodigestor	
		Chinês	Indiano
Redução de Sólidos (%)	de	37	38
Produção média ($m^3 \cdot dia^{-1}$)		2,7	3,0
Produção média ($l.m^{-3}$ de substrato)		489	538

Fonte: Lucas Júnior (1984).

Tabela 01: Resultados preliminares dos desempenhos de biodigestores modelo Indiano e Chinês, com capacidade de $5,5 m^3$ de biomassa, operados com esterco bovino.

O biodigestor modelo batelada (Figura 04) trata-se de um sistema simples e de pouca exigência operacional, pois sua instalação conta com um tanque anaeróbico ou vários tanques em série. Esse biodigestor não é contínuo, pois é abastecido uma única vez, mantendo-se em

fermentação por um período conveniente e tendo o material descartado após o término do período de produção do gás.

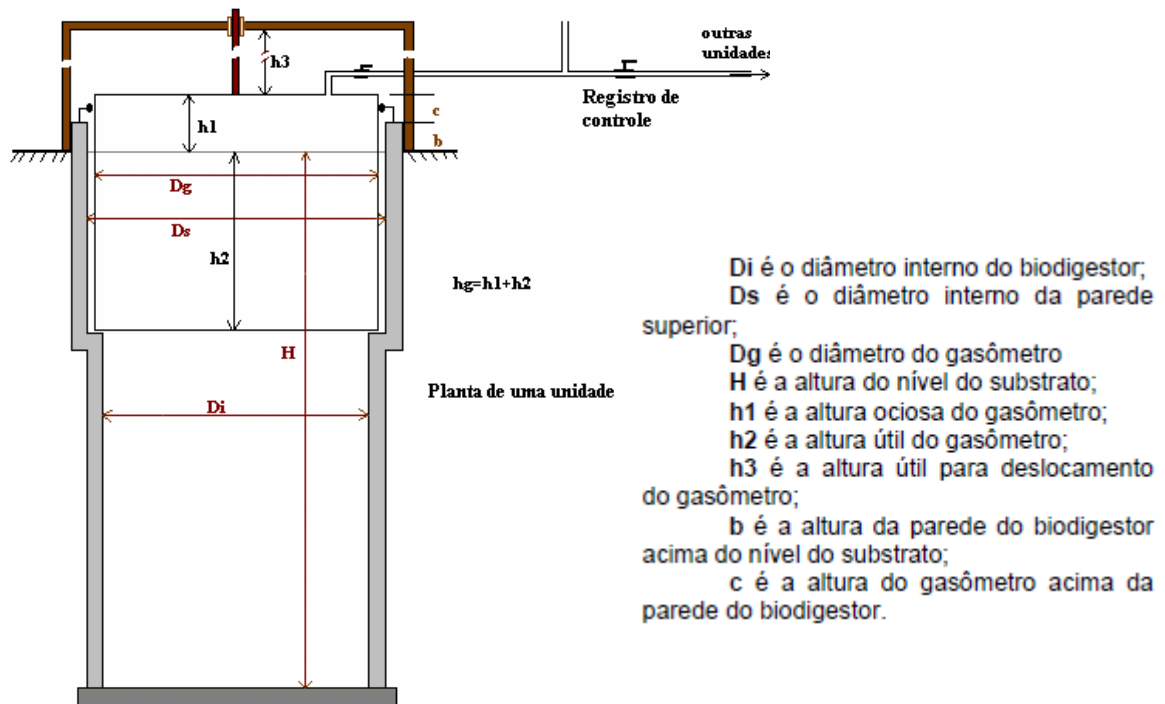
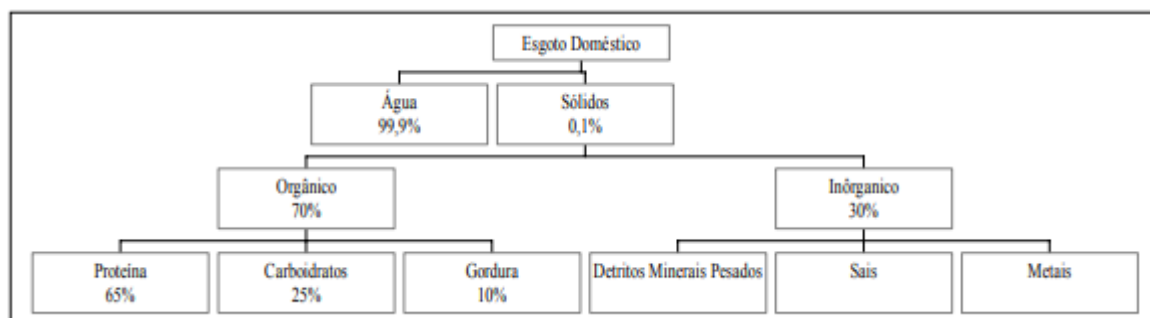


Figura 04: Biodigestor modelo Batelada (Deganutti, 2004)

3.2 QUÍMICA DOS DEJETOS

3.2.1 HUMANO

Na seguinte tabela é apresentada a composição do esgoto doméstico, que é composto por constituintes físicos, químicos e biológicos, e desde que não tenha contato com despejos industriais essa composição se mantém em constância.



Fonte: Mendonça, 1990

Tabela 02: Composição de esgotos domésticos.

Devido a essa fração de sólidos apresentado na tabela 02 que os problemas de poluição existem, é onde a necessidade dos tratamentos se fazem presentes.

Atributo	U	Primeiro lote 03/99		Segundo lote (12/99)		Terceiro lote (09/00)	
		LB	LF	LB	LF	LB	LF
Fósforo		15,9	16,0	31,2	21,3	26,9	12,9
Potássio	g/kg	1,0	1,0	1,97	0,99	1,0	1,0
Sódio	g/kg	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,9
Arsênio	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cádmio	mg/kg	12,8	3,32	9,5	2,0	9,4	2,05
Chumbo	mg/kg	364,4	199,6	233	118	348,9	140,5
Cobre	mg/kg	1058	239,8	1046	359	953,0	240,9
Cromo total	mg/kg	823,8	633,8	1071	1325	1297,2	1230,3
Mercúrio	mg/kg	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<0,01
Molibdênio	mg/kg	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<0,01
Níquel	mg/kg	518,4	54,7	483	74	605,8	72,4
Selênio	mg/kg	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<1
Zinco	mg/kg	2821	1230	3335	1590	3372	1198
Boro	mg/kg	36,2	40,7	11,2	7,1	29,3	19,7
Carbono orgânico	g/kg	248,2	305,1	271	374	292,9	382,4
pH		6,6	6,3	6,4	6,4	6,4	5,4
Umidade	%	66,4	83	80,2	82,4	71,2	82,7
Sólidos Voláteis	%	43,0	60,5			56,8	72,5
Nitrogênio total	g/kg	21	56,4	49,7	67,5	42,1	68,2
Enxofre	g/kg	13,4	16,3	10,8	13,3	17,1	15,7
Manganês	mg/kg	429,5	349,3	335	267	418,9	232,5
Ferro	mg/kg	54.181	33.793	32,5	31,7	37.990	24.176
Magnésio	g/kg	3,0	2,2	3,7	2,5	4,5	2,2
Alumínio	mg/kg	28.781	32.564	25,3	33,5	23.283	23.317
Cálcio	g/kg	40,3	29,2	22,8	16,8	47,8	24,8

Fonte: Bettioli (2004), Fernandes et al (2004)

Tabela 03: Composição química de esgotos domésticos.

3.2.2 SUÍNO

Variável	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Média (mg/L)
DQO	11.530,2	38.448,0	25.542,9
Sólidos totais	12.697,0	49.432,0	22.399,0
Sólidos voláteis	8.429,0	39.024,0	16.388,8
Sólidos fixos	4.268,0	10.408,0	6.010,2
Sólidos Sedimentáveis	220,0	850,0	428,9
Nitrogênio total	1.660,0	3.710,0	2.374,3
Fósforo total	320,0	1.180,0	577,8
Potássio total	260,0	1.140,0	535,7

Fonte: Silva, 1996.

Tabela 04: Composição química de dejetos suínos.

3.2.3 BOVINO

Elemento	Composição (%)			Excreção diária (g)		
	Fezes	Urina	Combinados	Fezes	Urina	Combinados
N	2,7	14	4,3	160	136	296
P	0,85	0,37	0,78	50	32	54
K	0,53	13,98	2,48	31	4	168
Ca	2	0,02	1,72	118	137	119
Na	0,16	4,65	0,8	9	0,3	55
Mg	0,7	0,46	0,67	41	46	0,46
Fe	0,11	-	-	7,4	5	7,6

Fonte: Adaptado de Van Horn et al. 1994

Tabela 05: Composição química de dejetos bovinos.

4. METODOLOGIA

Tendo os dados necessários de volume de material orgânico produzido pela ETE norte-Brasília, realizar cálculos de eficiência energética. Para isso, será feito um estudo de propriedades de materiais mais adequados para a construção do mecanismo, como tubulações e o reservatório principal de matéria orgânica.

Dessa forma, sugere-se um estudo sistemático do funcionamento do biodigestor e sua construção e no que se pode ser reaproveitado da matéria orgânica dentro do contexto da cidade.

Será também feito um comparativo e o cálculo de geração do biogás com relação aos tipos de dejetos mais utilizados, como os providos dos suínos, bovinos e avícolas.

Ao final espera-se ser conclusivo que o uso de biodigestores é a melhor forma para se fazer o reaproveitamento da matéria orgânica gerada pelo homem, em que a vazão e demanda são maiores comparados aos dos outros animais supracitados para o estudo, de modo que a cidade seja sustentável e não polua o meio ambiente de forma ostensiva.

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ETE NORTE E SUAS REGIÕES ADMINISTRATIVAS

No presente trabalho foram utilizados os dados fornecidos pela CAESB(Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), localizada na Asa Norte do Plano Piloto – Distrito Federal, como apontado no mapa da figura 5. Esta ETE atende as regiões Asa Norte/ Vila Planalto/ Parte da Área Central de Brasília, Lago Norte, Taquari, Vila Estrutural, Vila Varjão e Torto, a vazão média segundo a CAESB é de 450 l/s (38.880m³/dia).

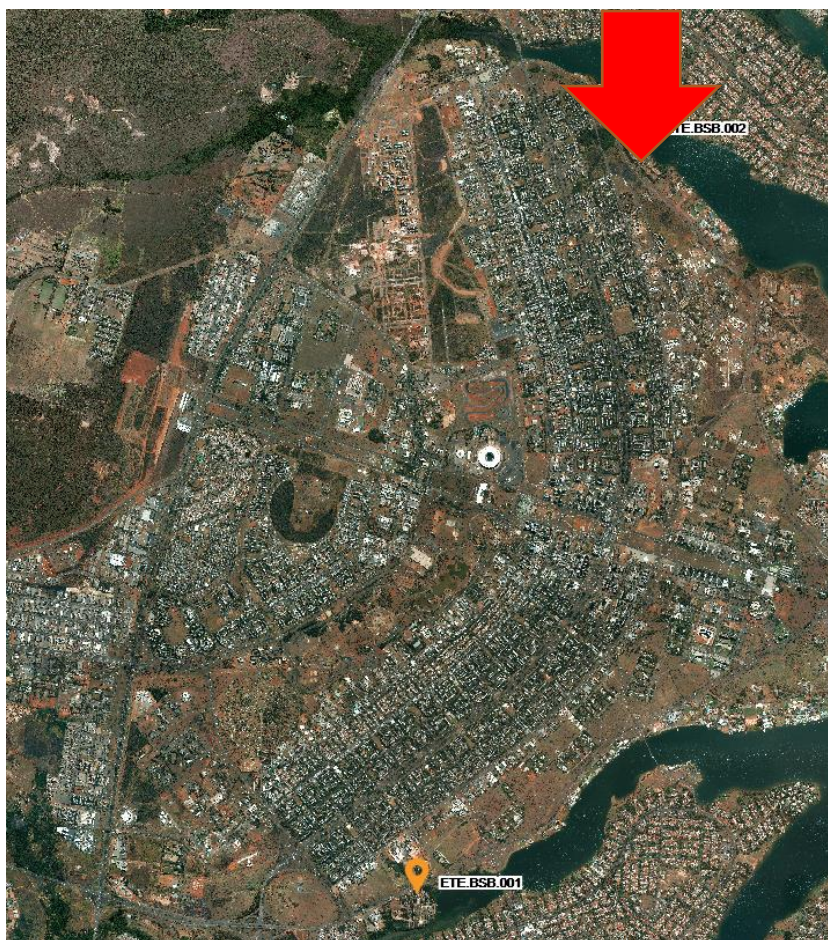


Figura 5 – Localização ETE

Fonte: CAESB, (<http://atlascaesb.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=9babae05a8a1444180cdf3df83f67fb7>)



Figura 6 – Vista superior do local de ensaio

Fonte: CAESB, (<http://atlascaesb.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=9babae05a8a1444180cdf3df83f67fb7>)

4.2 METODOLOGIA DE ESTUDO

Num primeiro momento foi feito um estudo teórico acerca dos biodigestores existentes e sua eficiência, por conseguinte foi feito o estudo sobre esgoto e seu impacto nas cidades. O intuito era agregar este projeto com o projeto de pesquisa das alunas da professora Eliete de Pinho Araújo intitulado de "Cidade eficiente e sustentável" que tinha Brasília como seu modelo, porém, seu projeto de pesquisa estava inconcluso, logo, utilizei apenas os dados da ETE da cidade de Brasília para este projeto. Técnica e viabilidade de produção sintetizado a partir de resíduos sólidos provenientes das habitações a partir dos dados. Foi feito também um biodigestor teste com os poucos recursos materiais que se foi possível utilizar e muitos dos materiais foram cedidos pelo próprio professor orientador, estudo dos modelos e viabilidade econômica.

4.2.1 ESGOTO

A água é indispensável a qualquer ser humano, a mesma também é responsável por transmitir vários tipos de doenças, que são vinculadas aos dejetos despejados em rios, nascentes e mar por falta de sistemas de esgotamento.

Aspecto em foco	Conseqüências
Sólidos suspensos e dissolvidos	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição da vazão do rio e de volumes de armazenamento (Assoreamento) → inundações; • Soterramento de animais e ovos de peixes. Aumento da turbidez da água → redução da transparência da água → diminuição da atividade fotossintética → redução do oxigênio dissolvido → impactos sobre a vida aquática.
Nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrofização da água; • Proliferação de algas e de vegetação aquática; • Prejuízos a recreação e navegação.
Presença dos microorganismos patogênicos	<ul style="list-style-type: none"> • Transmissão de doenças ao homem.
Mudanças no pH	<ul style="list-style-type: none"> • Efeitos sobre a fauna e flora.
Compostos tóxicos	<ul style="list-style-type: none"> • Danos à saúde humana; • Danos à vida aquática.
Corantes	<ul style="list-style-type: none"> • Danos à vida aquática; • Prejuízos aos usos.
Substâncias tenso-ativas	<ul style="list-style-type: none"> • Danos a fauna; • Geração de espumas.
Substâncias radioativas	<ul style="list-style-type: none"> • Danos à saúde humana e animal.

Fonte: Mota, 1997.

Tabela 06: Fatores impactantes do Efluente e as consequências no meio ambiente.

A saúde pública é diretamente interferida pelo saneamento, refletindo na economia, política e sociedade. Portanto, o tratamento adequado aos sistemas de esgoto são fundamentais para a melhoria do quadro de saúde.

Esse tratamento consiste na estabilização da matéria orgânica de um certo efluente, que se baseiam em processos denominados de autodepuração ou estabilização, processos esses que ocorrem na própria natureza.

Os tratamentos tradicionais consiste em processos bioquímicos para a separação dos sólido e a eliminação dos patogênicos. Passa primeiro por uma peneira, depois por uma caixa de areia e por fim a caixa de gordura. Então é submetido ao pré-arejamento e a equalização caudais e cargas poluentes, em seguida a matéria poluente se separa da água por sedimentação.

4.2.2 BIOGÁS, LODO E ENERGIA

4.2.2.1 BIOGÁS E BIOFERTILIZANTES

O biogás e o biofertilizante é resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica, vindos de resíduos e dejetos de animais, tratados em biodigestores, reduzindo os poluentes do meio ambiente. Os principais componentes do biogás são o gás metano (cerca de 60% a 80% do biogás, é mais puro quanto maior o seu teor) e o gás carbônico, o gás sulfídrico é responsável pelo odor pútrito e ocasiona a corrosão dos componentes do sistema, a proporção dos na mistura se modifica de acordo com o manejo aplicado.

Os biofertilizantes são adubos orgânicos líquidos que passam por todo o processo de fermentação nos biodigestores, são uma ferramenta importante no cultivo de plantas saudáveis, porém seu uso isolado de apenas uma técnica pode não atingir os resultados almejados e é tem sucesso como tratamento nutricional sobre os cultivos desejados.

4.2.2.2 LODO

O lodo começa a ser gerado a partir de todos os processos do tratamento biológico, nos tratamentos de esgotos os principais subprodutos sólidos gerados ocorrem da seguinte maneira: Sólidos grosseiros quando passam pela grade, o material orgânico varia em função

das características do esgotamento e da época do ano, sua remoção pode ser manual ou mecânica. Areia, quando passa pelo desarenador que compreende sólidos inorgânicos mais pesados que se sedimentam rapidamente, dependendo das condições de operação podem ser removidos também matéria orgânica e óleos e graxas. Escuma, se removida dos decantadores primários consiste em materiais flutuantes raspados da superfície, contendo graxa, óleos vegetais e minerais, gordura animal, sabão, resíduos de comida, cabelo, papel, pontas de cigarro e materiais similares. Lodo primário, são os sólidos removidos por sedimentação nos decantadores e pode exalar um forte odor. Lodo biológico é a biomassa de microorganismos aeróbios gerada a partir da remoção da matéria orgânica dos esgotos.

Em Brasília foi realizada a aplicação de lodo para a recuperação de algumas áreas que já tinha sofrido outros tipos de tratamento para recuperação, isso foi apresentado no oitavo fórum mundial da água pela CAESB que também coordenou a prática de recuperação dos solos no Jardim Botânico e Lago Sul, que hoje, após dois anos da aplicação do lodo, já apresenta mata densa e um solo rico.

4.2.2.3 ENERGIA

Uma das características mais importante de um gás é que apresenta a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa ou volume no caso de gases é denominada de poder calorífico, também conhecido como poder de queima, calor de combustão ou potência calorífica (COSTA, 2006). Quando se determina a composição de um combustível, verifica-se que o mesmo é geralmente composto por carbono, hidrogênio e oxigênio. Quando há a combustão do mesmo, há a formação de água como produto dessa reação devido à presença de hidrogênio, essa água pode estar no estado líquido, gasoso ou ainda em ambos. Caso a água formada na combustão se condense é obtido o poder calorífico do combustível superior (PCS), mas se a água estiver no estado gasoso é obtido o poder calorífico inferior (PCI), em consequência disso o biogás também terá ambos os poderes caloríficos. De acordo com a concentração de metano no biogás o poder calorífico pode variar entre 4,95 a 7,92 Kwh/m³ para o poder calorífico inferior e superior, respectivamente (COSTA, 2006), após o devido tratamento o biogás pode atingir um poder calorífico próximo a 10.000 kcal/m³ (COSTA, 2006).

4.2.3 COMPARATIVO ENERGÉTICO

A partir da fundamentação teórica estudada até este ponto da pesquisa, baseando-se em situações experimentais, pode ser calculado aproximadamente a produção de biogás para os tipos de animais.

Animal	Dejeto(kg/dia)	Biogás(m ³ /dia/animal)	GLP(kg/dia)	Energia(kWh/dia)
Suíno	16	0,19	0,08	0,19
Bovino	45	0,54	0,22	0,54
Galinha	0,09	0,01	0,00	0,01
Humano	0,25	0,01	0,00	0,01

Tabela 07: Índices de produção de biogás, GLP e kWh.

Os dois primeiros tipos, devido ao seus confinamentos, é considerado o dejetos juntamente com a urina, então para os demais houve um acréscimo de água em sua mistura. O potencial de produção de biogás foi obtida diretamente da literatura especializada conforme referências também indicadas na mesma.

Para uma população de 40 bovinos é feito o seguinte cálculo:

$$\text{Biogás: } 40 \times 0,54 = 21,6 \text{ m}^3$$

$$\text{GLP: } 40 \times 0,22 = 8,8 \text{ kg}$$

$$\text{Eletricidade: } 40 \times 0,54 = 21,6 \text{ kWh}$$

Para 40 humanos:

$$\text{Biogás: } 40 \times 0,01 = 0,4 \text{ m}^3$$

$$\text{GLP: } 40 \times 0,00 = 0,00 \text{ kg}$$

$$\text{Eletricidade: } 40 \times 0,01 = 0,4 \text{ kWh}$$

Mas, pela vazão fornecida pela CAESB em demanda de tal proporção, o uso dos biodigestores apesar de não suprir a demanda energética necessária para manter a cidade funcionando, pelo menos justifica a diminuição do impacto ambiental.

4.2.4 PROTÓTIPO ALTERNATIVO PARA TESTE

O protótipo foi montado na fazenda do professor orientador que fica localizada em Luziânia. Para a montagem, foram utilizados um recipiente para o armazenamento dos

degetos, durepox para a vedação de possíveis orifícios que pudessem deixar o gás escapar, um tubo, e um outro recipiente com água para a verificação da produção do gás.

O processo se deu:



Figura 7.



Figura 8..



Figura 9.



Figura 10.

A figura 7 é um recipiente vedado mais simples de 200 litros comprado numa agropecuária, na figura 8 retratei a tampa do tambor para que fosse observado onde foi conectada a mangueira para a passagem do gás. Figura 9, mostra a ponta danificada da mangueira que estávamos tentando consertar e a Figura dez é o equipamento de furo, que será feito no recipiente para a entrada da mangueira de passagem do gás.



Figura 11



Figura 12



Figura 13



Figura 14



Figura 15

A figura 11 foi o procedimento do furo, a figura 12 indica a massa de vedar usada, figura 13 o encaixe da mangueira de passagem do gás e a tampa do recipiente, figura 14 e figura 15 os dois lados vedados e colocado no sol para secagem da massa.

Na figura 16 mostra a tentativa de planificar o solo para locar o tambor, de maneira que o gás se aloje na parte superior e passe pela mangueira, o ideal seria que essa parte superior tivesse o formato de um cone e o gás gerado fosse induzido a passar pela mangueira. Figura 17 o tambor locado, figura 18 e 19 água sendo acrescentada aos 20 litros aproximados de dejetos bovinos.



Figura 16



Figura 17



Figura 18



Figura 19



Figura 20



Figura 21



Figura 22



Figura 23



Figura 24

Na figura 20 temos o tambor já vedado e pronto para a fermentação, figura 21 e 22 é o outro recipiente para verificação de gás onde o furo de saída ligaria ao motor da figura 24 e a figura 23 o protótipo montado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado obtido não cumpriu com as expectativas de todos objetivos citados nessa pesquisa, pois, durante realização do experimento houve falta de dejetos bovinos e por isso o protótipo não conseguiu gerar o biogás. O professor orientador cedeu boa parte dos recursos para a realização do protótipo, os materiais necessários foram próximos do que seria o ideal, o que também pode ter levado a falha.

Deixo em aberto a questão da realização de novos protótipos, mas dessa vez com os recursos certos para que o mesmo seja capaz de suportar a vazão de uma ETE como a de Brasília de forma eficiente.

6. CONCLUSÃO

A partir do que foi apresentado, conclui-se que o uso adequado de biodigestores trás uma melhora significativa na qualidade de vida da cidade e que sendo implantada movimentaria também a economia, sendo gerado a partir dele energia elétrica, biogás e a reutilização do lodo para a agricultura.

Conclui-se também que apesar do esgoto humano não gerar biogás tanto quanto os dejetos produzido por suínos, bovinos ou avícolas, a vazão dos dejetos nas cidades é maior e por conseguinte ultrapassa a marca dos outros animais. O protótipo do projeto pode ter falhado na questão de materiais de vedação, ou seja, a bolsa não foi suficiente para a compra do material adequado para a realização completa deste experimento. Então deixo em aberto a questão da realização de novos protótipos para que sejam testados meios ou design do maquinário mais eficiente para a coleta nas ETE's.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. W. S. Diagnóstico técnico Institucional da recuperação e Uso Energético do Biogás Gerado pela Digestão Anaeróbica de Resíduos. Dissertação de Mestrado, PIPGE/USP, São Paulo, 2000.

ALVES, S. M.; MELO, C.F.M.; WISNIEWSKI, A. Biogás: uma alternativa de energia no meio rural. Belém, EMBRAPA/CPATU. (Miscelânea, 4), 1980.

ANDERSON, D.; ROLAND, K.; SCHREINER, P. and SKJELVIK, J. M. “Designing a domestic GHG emissions trading system: the example of Noreay”, in JEPMA, C.J.; VAN DER Gaast, W. On the compatibility of flexible instruments. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.

ANDREOLI, CLEVERSON V.; SPERLING, MARCOS VON; FERNANDES, FERNANDO. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final – 2. Ed. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

APHA; AWWA; WPFC. (1998). Standart methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, Washington. [20] ^thed.,

BENINCASA, M.; ORTOLANI, A.F.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores convencionais. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 25p.

BETTIOL, W. ; FERNANDES, S.A.P.:2004. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: São Paulo.

CAETANO, L. Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985. 75 f.

CAPSTONE, Capstone Low Emissions Microturbine Technology. White Paper, Capstone Turbine Corporation, California, 2000.

CAPSTONE, Capstone Microturbine Model 330 Troubleshooting Guide, Capstone Turbine Corporation, California, 2002.

CAPSTONE, Capstone C30 Landfill / Digester Biogas. Product Datasheet, Capstone Turbine Corporation, California, 2003.

CENBIO. Nota Técnica VII – Geração de Energia a Partir do Biogás Gerado por Resíduos Urbanos e Rurais, São Paulo, 2001.

COSTA, DAVID FREIRE DA. Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto/ David Freire da Costa; orientador José Goldemberg. São Paulo, 2006. 194p.: il.;30cm. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em energia) – IEE / EPUSP / FEA / IF da Universidade de São Paulo.

COSTA, D. F. – Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento de Esgoto, 2006.

DEGANUTTI, Roberto; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada. Departamento de Arquitetura, Artes e Representações Gráficas, UNESP: Bauru, 2004.

JUNQUEIRA, JULIANA BEGA. Biodigestão e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com *Panicum maximum* Jacq.,cv Tanzânia/ Jaboticabal, 2011.

LAGRANGE, B. Biomethane: principes-techniques, utilisations. La Calade, EDISUD/energias alternatives, 1979. 249p.

LUCAS JÚNIOR, J. Estudo comparativo de biodigestores modelos Indiano e Chinês. Botucatu, 1987, 114p. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista.

MENDONÇA, SERGIO ROLIM & CEBALOS, BEATRIZ SUSANA DE O. Lagoa de Estabilização

e Aeradas Mecanicamente: Novos Conceitos. João Pessoa, S. Rolim Mendonça.

ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores rurais: modelos Indiano, Chinês e Batelada. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 3p.

PERDOMO, C.C. Impacto Ambiental causado pelos Dejetos Suínos. Porto Alegre: FEPAM, 1997. 7p

PRATI, LISANDRO. Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. Monografia apresentada na Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010

SCHUSTER-WALLACE C.J., WILD C., AND METCALFE C. (2015). Valuing Human Waste as an Energy Resource. A Research Brief Assessing the Global Wealth in Waste. United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH). Available from: <http://inweh.unu.edu>

SEIXAS, J. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília: EMBRAPA-DID, 1980. 60p. (EMBRAPA - CPAC. Circular Técnica, 4).

VAN HORN, H.H.; WILKIE, A. C.; POWERS, W.J.; NORDSTEDT, R.A. Components of dairy manure management systems. Journal Dairy Science, Savoy, v. 77, n.7, p. 2008-2030, 1994.

Sites:

CAESB: <https://www.caesb.df.gov.br/>

EMBRAPA: <https://www.embrapa.br/>