

KAIQUE GUEDES DUARTE

**Avaliação de diferentes processos de aproveitamento de águas residuais e
lodo de esgoto dentro de uma visão bioeconômica**

Guaratinguetá - SP
2018

Kaique Guedes Duarte

**Avaliação de diferentes processos de aproveitamento de águas residuais e
lodo de esgoto dentro de uma visão bioeconômica**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Eliana Vieira Canettieri

Guaratinguetá - SP
2018

D812a	Duarte, Kaique Guedes Avaliação de diferentes processos de aproveitamento de águas residuais e lodo de esgoto dentro de uma visão bioeconômica / Kaique Guedes Duarte. – Guaratinguetá, 2018. 41 f : il. Bibliografia: f. 38-41 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientadora: Profª. Drª. Eliana Vieira Canettieri 1. Energia - Fontes alternativas. 2. Aguas residuais. 3. Biomassa. 4. Esgotos 5. Sustentabilidade. I. Título CDU 620.9
-------	--

Pâmella Benevides Gonçalves
Bibliotecária/CRB-8/9203

KAIQUE GUEDES DUARTE

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**ENGENHARIA MECÂNICA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Eliana Vieira Canettieri
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. José Elias Tomazini
UNESP-FEG


Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna
UNESP-FEG

Novembro de 2018

dedico este trabalho
de modo especial, à minha família

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Eliana Vieira Canettieri* que jamais deixou de me incentivar.

ao meu irmão Kaue Guedes Duarte, por seu auxílio e suporte com relação aos materiais estudados.

aos meus pais Arlete Aparecida Guedes Duarte e Marco Antônio Duarte, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação no atendimento.

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o Céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

As condições adversas ambientais, como alterações climáticas e aumento nas emissões de poluentes na atmosfera, juntamente com iniciativa econômica em sustentabilidade, motivou a necessidade de reagir com investimento e pesquisa sobre a política de consumo de energia no mundo, com o incentivo às energias alternativas. Diante desse cenário, as energias renováveis passaram a ter alto potencial de uso dentro da matriz energética nos últimos anos, demonstrando sua importância no Brasil e no mundo. Uma questão ambiental global de destaque é o mau aproveitamento e distribuição do esgoto urbano, uma vez que grande parte do esgoto captado retorna ao meio ambiente sem tratamento. A produção de biomassa derivada do tratamento de esgoto é uma alternativa que incorpora o uso sustentável e a exploração de uma fonte de energia pouco aproveitada. O presente trabalho tem por finalidade abordar os aspectos conceituais e técnicos relacionados à recuperação e uso energético dos derivados do tratamento do esgoto sanitário, analisando implementações já existentes e possíveis alternativas inovadoras para verificar a viabilidade para futuros projetos em Estações de Tratamento de Esgoto – ETE no país e no mundo.

PALAVRAS-CHAVE: Uso sustentável. Energias renováveis. Esgoto. Biomassa. Biogás.

ABSTRACT

Adverse environmental conditions, such as climate change and large emissions of pollutants in the atmosphere, together with a new economic initiative in sustainability, bring a need to react with investment and research on the world's energy consumption policy, with the encouragement of alternative energies. For these reasons, renewable energies have been highly developed in the energy matrix in recent years, demonstrating their importance in Brazil and in the world. Another worrying environmental issue is the poor utilization and distribution of urban sewage in Brazil, since much of the sewage collected is returned to the environment without treatment. The production of biomass derived from sewage treatment is an alternative that incorporates the sustainable use and exploitation of a source of energy little used. The present work aims to address the conceptual and technical aspects related to the recovery and energetic use of the derivatives of sanitary sewage treatment, analyzing existing implementations and possible innovative alternatives to verify the feasibility for future projects in Sewage Treatment Stations in the country and in the world.

KEYWORDS: Sustainable use. Renewable energy. Sewer. Biomass. Biogas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da produção de energia primária no Brasil	15
Figura 2 – Tratamento da fase líquida do esgoto.....	20
Figura 3 – Tratamento da fase sólida do esgoto	21
Figura 4 – Adensador na ETE Barueri	22
Figura 5 – Visão de armazenamentos de lodo de esgoto gerados na ETE Barueri	22
Figura 6 – Lodo de esgoto gerado na ETE Barueri	25
Figura 7 – Evolução do consumo de energia elétrica nos setores de água e esgoto no Brasil de 2003 a 2016	28
Figura 8 – Representação de um reator UASB.....	33
Figura 9 – Balanço de massa relacionado a um reator UASB.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação de produção de renováveis no Brasil	16
Tabela 2 – Volume de esgoto coletado pela Sabesp no estado de São Paulo no ano de 2016	23
Tabela 3 – Volume de esgoto coletado pela Sabesp no estado de São Paulo no ano de 2017	23
Tabela 4 – Volume de esgoto coletado pela Sabesp no estado de São Paulo acumulado no ano de 2018	23
Tabela 5 - Parâmetros operacionais e desempenho de sistemas anaeróbios tratando esgoto sanitário	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO	13
2	DESENVOLVIMENTO	14
2.1	FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	14
2.2	TRANSFORMAÇÃO DE ESGOTO URBANO EM BIOMASSA.....	18
2.2.1	Esgoto sanitário.....	18
2.2.2	Lodo de Esgoto.....	24
2.2.3	Biogás.....	26
2.2.3.1	Potencial do esgoto para produção de biogás	26
2.2.3.2	Biogás do tratamento anaeróbio de águas residuais	29
2.2.3.3	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente	31
2.2.3.4	Casos implementados	35
3	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	41

1 INTRODUÇÃO

Os Combustíveis fósseis são recursos da natureza não renováveis derivados de processos naturais extremamente lentos, como a decomposição de restos de organismos, geralmente restos de plantas e animais soterrados. O carvão mineral, os derivados do petróleo (como gasolina, óleo diesel, GLP, entre outros) e ainda, o gás natural são os combustíveis fósseis mais utilizados e mais visados no mercado mundial atual. Estes levam milhões de anos para se formarem, tornando o processo inviável para renovação o que o torna um processo inviável em vias de renovação para a vida humana, já que seu consumo é muito maior que a produção. Com o aumento significativo do controle e consumo desses recursos, por parte do ser humano, há a preocupação de suas reservas se esgotarem, o que acabou por trazer diversas transformações ambientais, econômicas e sociais, situação que vem ocorrendo desde a época da Revolução Industrial.

O fato desses combustíveis serem finitos faz com que a dependência energética a partir deles seja um problema quando esses recursos acabarem, mesmo que teorias indicam que os recursos são muito abundantes e esta questão está longe de ser uma preocupação atual. Outro problema é que, como combustíveis fósseis contêm grande quantidade de carbono, usados para alimentar a combustão, a queima destes libera uma grande quantidade de dióxido de carbono, e mesmo que os processos naturais tenham o poder de absorver esse tipo de gás, grande parte não é absorvida e atinge a atmosfera. O aumento da emissão desse gás na atmosfera intensifica o processo do efeito estufa que, por sua vez, está relacionada ao aumento da concentração de gases que possuem características específicas, conhecidos como poluentes. Estes permitem a entrada da luz solar, porém impedem que parte do calor gerado durante a irradiação seja mandado de volta para o espaço. Gases que possuem essa mesma propriedade são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), dentre os quais o dióxido de carbono CO₂ se destaca.

Analisando um pouco mais a fundo essas questões, relacionando fundamentos históricos, a dependência dos combustíveis fósseis ficou mais clara após dois choques de petróleo na década de 70, na qual iniciaram incentivos às nações importadoras de petróleo a buscarem alternativas para este insumo fóssil. Surgiram vários programas de desenvolvimento de energias renováveis, de economia de energia, e de vários insumos já utilizados, como o carvão. A situação continuou até próximo aos anos 80, quando o preço do barril de petróleo chegou a valores próximos US\$ 12 por barril, o que impulsionou o interesse pelos substitutos do mesmo (LEITE; LEAL. 2007).

Ainda nos anos 1970, a intensa preocupação com a qualidade do ar em cidades grandes, principalmente pela grande emissão de gases derivados do petróleo, renovou-se o interesse pelos chamados biocombustíveis. Grandes produtores e usuários de álcool, como os Estados Unidos e o Brasil, passaram a intensificar esse interesse de forma relevante e intensa, enquanto os países europeus e o Japão, por exemplo, mantiveram interesse reduzido pela questão e privilegiaram os derivados do petróleo. A partir do momento que houve a obrigatoriedade de adicionar componentes oxigenados na gasolina, com a finalidade de reduzir as emissões de gases poluentes, foi aberta a grande oportunidade para o mercado do álcool como combustível (LEITE; LEAL. 2007).

Na segunda metade da década de 1990, houve o desenvolvimento e introdução de dois componentes em veículos automotivos de grande importância para a redução em grande escala de emissões no escapamento dos mesmos: a injeção eletrônica e o catalisador de três vias. Através dessa redução, a poluição derivada de veículos passou a não ser uma grande preocupação, mas o incentivo da utilização do álcool continuou, com a competição entre metanol e etanol pelo mercado de álcool combustível, sendo o último a obter a conquista do setor (LEITE; LEAL. 2007).

Desde a década de 1980 os cientistas passaram a alertar os Governos sobre o impacto dos GEE no clima global, mostrando evidências evolutivas e mais convincentes de que a temperatura do planeta estava crescendo a uma taxa maior do que era esperada pelos registros históricos. Segundo Leite e Leal (2007), dados comparativos mostram o nível de dióxido de carbono na atmosfera ter subido de 280 PPM, índice prevalecido antes da Revolução Industrial, para 380 PPM nos últimos anos. A queima de combustíveis fósseis seria a principal causa desse fenômeno.

Diante desse cenário, diversas preocupações com o próprio planeta vieram à tona, vigorando importantes eventos como o Protocolo de Quioto, no qual foram atribuídas responsabilidades a diversos países, passando a estabelecer metas quantitativas para a redução da emissão dos GEE.

Nos últimos anos os preços do petróleo subiram sensivelmente, passando do patamar de US\$ 35-50 por barril para um novo patamar entre US\$ 65-80 por barril no ano atual (INVESTING.COM. 2018). As instabilidades políticas e sociais dentro dos países produtores e a expectativa de que o ápice de produção será atingido nos próximos dez anos estão mantendo a instabilidade do preço desse produto. A economia mundial está tão dependente desses insumos que o simples aumento do preço do barril de petróleo influencia fortemente na bolsa de valores.

Por esses diversos fatores, que envolve fatores desde ambientais devido às expectativas de esgotamento, até econômicos de como o preço do produto flui e isso impacta o mercado, existe um grande crescimento a investimentos no ramo de desenvolvimento sustentável, que viabiliza a utilização de soluções energéticas alternativas, como a biomassa, derivada de diferentes fontes, como alimentos ou até mesmo esgoto sanitário.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho propõe avaliar aspectos conceituais e técnicos de transformação, através da digestão anaeróbica, do esgoto urbano em energia a partir do biogás, através de biodigestores de lodo, identificando a importância do processo na concepção da bioeconomia e no aproveitamento energético do biogás.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Desenvolvimento sustentável é uma das ações para reformar a economia global com viés sustentáveis, com o desafio de desenvolver e propagar meios para transformar o processo de desenvolvimento econômico de modo que ele não destrua os ecossistemas e os sistemas comunitários, usando variáveis como os talentos e os recursos locais.

A Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas (CMMAD), formulou o seguinte conceito: “Desenvolvimento sustentável trata-se de um processo no qual a exploração dos recursos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam os potenciais presente e futuro, a fim de atender às futuras necessidades e aspirações. É aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer que as gerações futuras atendam às suas próprias necessidades” (CMMAD, 1991). Nesse contexto que as energias renováveis estão em constante crescimento no mundo, já que atua na responsabilidade de reduzir a emissão de GEE e substituir parcialmente o petróleo, tanto para prolongar sua vida útil, quanto para reduzir a dependência mundial dessa matéria prima.

As fontes de energia renováveis são aquelas que possuem um ciclo de renovação em escala de tempo humana, ou seja, estão sempre disponíveis para constante utilização e não se esgotam (se estruturada), como a energia proveniente do sol, fontes eólicas, biomassa e hídrica. Os combustíveis renováveis, derivados de matérias-primas renováveis pela natureza, como a cana de açúcar, para fabricação do etanol, e o lixo orgânico, para a produção de biogás (este será mais detalhado ao longo do trabalho), têm grande importância já que podem ser usados em motores a combustão interna ou para a geração de energia, tendo parcela ou total participação na substituição dos combustíveis fósseis.

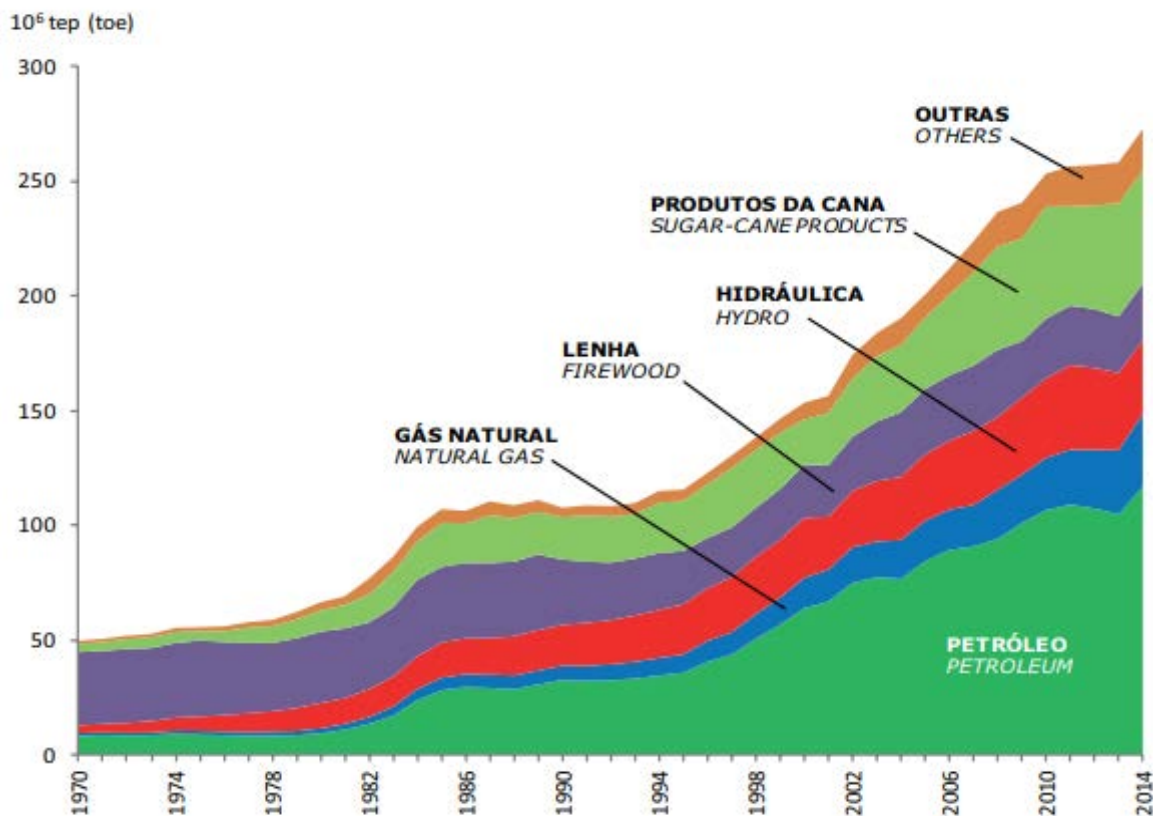
Segundo a Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis, E.N.M.C. (2018), a produção global de biocombustíveis vem crescendo de forma constante ao longo dos anos, passando de 16 bilhões de litros em 2000 para cerca de 110 bilhões de litros em 2013. O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores destes no mundo, como mostram números em 2017 que aproximadamente 13,64 bilhões de litros de etanol foram consumidos no país. O país é referência mundial no setor renovável, cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis. No resto do mundo, 86% da energia vêm de fontes energéticas não renováveis. Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil alcançou uma

posição almejada por muitos países que buscam desenvolver fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo (ANP, 2018).

Atualmente, a influência de biocombustíveis na matriz energética brasileira é significativa e é designada, principalmente, nos meios de transporte. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2012), órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia, o Brasil possui umas das matrizes energéticas mais renováveis do mundo com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. As usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do País. Por outro lado, a matriz energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis no caso de países industrializados e de 6% entre as nações em desenvolvimento (EPE, 2012).

Na Figura 1, pode-se observar a evolução de produção de energias primárias no Brasil, destacado pelo crescimento de fontes de energias renováveis nos últimos anos.

Figura 1 - Evolução da produção de energia primária no Brasil.



Fonte: Relatório final do Balanço Energético Nacional 2015 (EPE, 2015).

Através da Figura 1, pode se observar que há uma tendência no aumento das energias renováveis, porém, alternativas que vão além de derivados da cana de açúcar e fontes hidráulicas ainda estão muito distantes de terem uma representatividade significativa dentro da matriz energética brasileira, um exemplo disso é o biogás, que constitui menos do que 1% desse total (EPE, 2015).

É possível também criar uma associação do aumento de consumo de energia nos últimos anos com o crescimento econômico do país. Logo, uma medida importante na redução do consumo de energia, e consequente emissão de poluentes é, além do investimento nas fontes renováveis de energia, conseguir dissociar o crescimento econômico do consumo de energia.

Tabela 1 - Variação de produção de renováveis no Brasil

Renováveis (mil tep)	2015	2016	16 x 15	
Biodiesel	3126	3009	-3,7%	↓
Biogás	94	137	45,7%	↑
Eólica	1860	2880	54,8%	↑
Solar	5,1	7,3	43,1%	↑
Outras Biomassas	1151	1103	-4,2%	↓
Total	6236	7136	14,4%	↑

Fonte: Adaptado de EPE (2017).

A Tabela 1 mostra que, de forma geral, a produção de renováveis no Brasil tem aumentado ao longo dos anos em questão, porém, produtos como o biogás, mesmo tendo um aumento de produção de aproximadamente 46%, tem um longo caminho de ampliação para ter uma significativa produção para seu proveito, principalmente como participação na matriz energética do país.

Além da razão ambiental, podem-se citar várias vantagens socioeconômicas dos biocombustíveis, como geração de empregos em sua cadeia produtiva e o aumento dos índices de exportação do país, favorecendo, assim, a balança comercial.

Porém, também existem desvantagens em relação aos biocombustíveis, como, por exemplo, a necessidade de amplas áreas agricultáveis (o que poderá intensificar o desmatamento em decorrência da expansão da fronteira agrícola) e podem, ainda, exercer uma

pressão sobre o preço dos alimentos. Esses podem sofrer uma significativa diminuição na produção dando lugar a pesquisas para maior produção de biomassa. Importante então é não se limitar a apenas uma única fonte de energia renovável, capacitando outros setores para trazer maior representatividade na bioeconomia do país.

O termo bioeconomia, segundo a FIESP (2018), a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, representa todos os setores da economia que utilizam recursos biológicos (seres vivos), ou seja, vincular o sistema econômico de um processo com meios renováveis, recicláveis. Esse mercado destina-se a oferecer soluções coerentes, eficazes e concretas para os grandes desafios sociais, como a crise econômica, as mudanças climáticas, substituição de recursos fósseis, segurança alimentar e saúde da população. Esse tipo de atividade econômica depende de diversos estudos em diferentes áreas de atuação, como robótica, tecnologia, sistema de informação, ciências, entre outras fundamentais para evoluir no crescimento de novas tecnologias no mercado e na sociedade.

A competência do Brasil em energias renováveis, propensões agrícolas e biotecnologia, em conjunto com sua riqueza natural, gera uma gama de oportunidades para a atuação no segmento da bioeconomia no mundo, tornando o país uma referência e líder nesse cenário. Para ter uma participação mais efetiva nessa questão, é importante manter disponibilidade para produtos inovadores e processos de base biológica, em segmentos de grande importância como a agricultura, a saúde, e as indústrias diversas, como setores de energia e química. Em conjunto dessa ideia, o país deve estimular pesquisas de estudiosos no tema, facilitando a exploração do potencial no território brasileiro.

No ramo empresarial, companhias que só pensavam em lucro passaram a aperfeiçoar seus processos por meios sustentáveis, já que o termo sustentável passou de ser considerado uma ação apenas ambiental para uma necessária e, ao mesmo tempo, lucrativa, pensando em alternativas ao longo prazo.

Atualmente a sustentabilidade é o apoio para o fortalecimento das empresas, que precisam cada vez mais entregar valor agregado em suas mercadorias. A preocupação com o meio ambiente se converte em vantagem competitiva em mercados cada vez mais exigentes e desafiadores, com públicos alvos cada vez mais conscientes e preocupados com a qualidade de vida e saúde.

A Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI) e o Cluster Industrielle Biotechnologie (CLIB), segundo dados da ABBI (2018), apresentaram durante o Encontro Econômico Brasil-Alemanha, realizado em Colônia, na Alemanha, o acordo para o estabelecimento do BIO-INNO-HUB, uma parceria de ambos os países para o desenvolvimento

e a realização de projetos de inovação nos campos da bioeconomia avançada, biotecnologia industrial e biorefinarias. Esta iniciativa empresarial buscará o engajamento de instituições financeiras, órgãos governamentais e internacionais e a sociedade em geral para obter massa crítica para uma bioeconomia avançada global pela excelência científica, tecnológica e empreendedora. O BIO-INNO-HUB deverá apoiar o desenvolvimento das capacidades nos setores da indústria 4.0, em conjunto com a biotecnologia industrial, tendo estruturas sediadas em ambos países.

Assim, a bioeconomia surgiu para possibilitar soluções eficazes e coerentes não só para os problemas socioambientais contemporâneos, como a substituição de insumos fósseis, emissão de poluentes e saúde, mas também problemas socioeconômicos, como crise econômica mundial, aumento de produtividade agrícola e opções tecnológicas industriais diferenciadas.

2.2 TRANSFORMAÇÃO DE ESGOTO URBANO EM BIOMASSA

2.2.1 Esgoto sanitário

Uma ETE, Estação de Tratamento de Esgoto, é responsável por reduzir a carga poluidora do esgoto por meio de processos de tratamento através de sistemas e máquinas diversas, além de efetuar a disposição de todo resíduo gerado do tratamento, seja sólido ou líquido, de acordo com a legislação vigente do país, no Brasil, segundo a Resolução 430/2011, do CONAMA (2011). Nestas unidades há a remoção dos poluentes presentes na água antes destes serem devolvidos ao meio ambiente, assim como o devido tratamento e disposição dos resíduos retidos.

Os esgotos domésticos são compostos, em média, de 99,9% de água, enquanto apenas 0,1% correspondem a sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além de microrganismos. Assim, a necessidade de se tratar os esgotos se deve a essa fração de sólidos, na qual parte é composta de matéria orgânica, uma mistura de vários compostos que podem ser afetados pela ação de bactérias, ou seja, são biodegradáveis (SPERLING. 2005).

Os processos de tratamento de esgoto são diversos. A escolha do processo leva em consideração as condições de onde serão direcionados, estudos da capacidade deste de restaurar suas características ambientais naturalmente, as questões burocráticas definidas pela legislação ambiental e das características do esgoto que será tratado. Além destas, deve-se verificar a eficiência de cada processo, área disponível para a introdução do processo e seu custo envolvido nos processos.

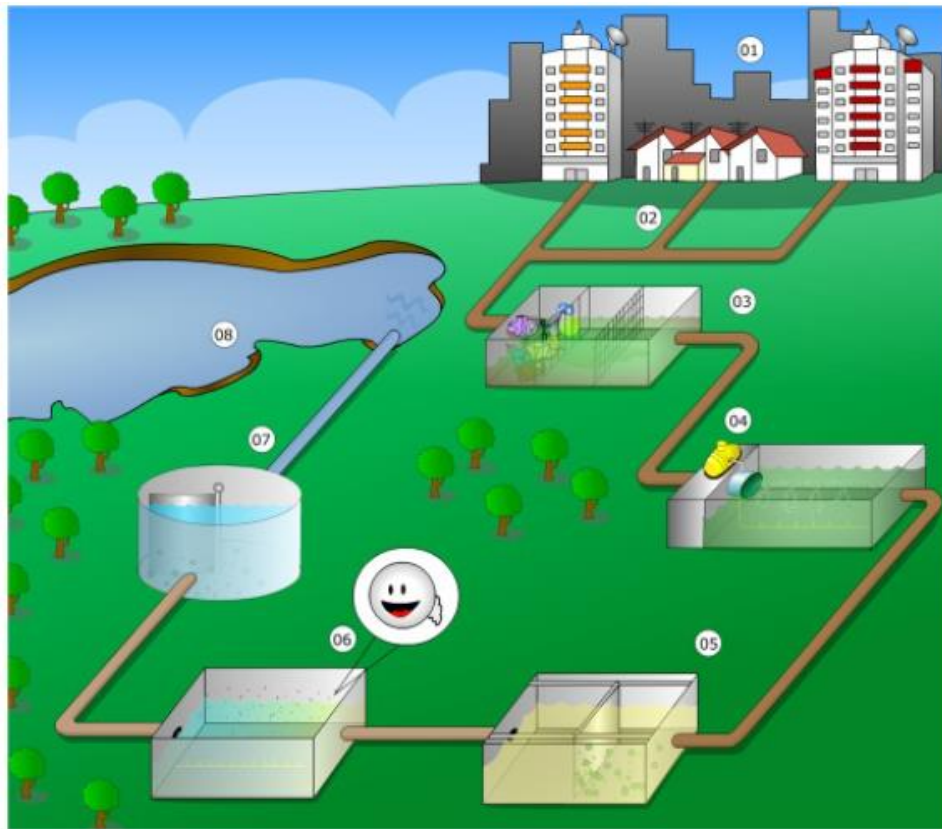
Segundo Albornoz (2015), o tratamento de esgoto pode ser dividido em quatro estágios: preliminar, primário, secundário e terciário.

- 1) O estágio preliminar constitui da retirada dos sólidos mais grosseiros, geralmente através de grades e caixas de areia.
- 2) No primário predomina processos físicos, como a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica, por decantadores primários.
- 3) Já no secundário prevalecem processos biológicos, como principal remoção de matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo através de reatores.
- 4) Por fim, no terciário remove-se poluentes usualmente tóxicos ou não biodegradáveis, ou ainda derivados do tratamento secundário que não foram removidos totalmente. Neste último, usualmente são utilizados produtos químicos ou tratamento biológico.

Dos mecanismos em si, os processos de tratamento são classificados em físicos, químicos e biológicos. Os processos físicos constituem de atividades de decantação, filtração, incineração, diluição e homogeneização. Os processos químicos envolvem o acréscimo de elementos químicos ao tratamento. Processos biológicos dependem da ação de microrganismos para que as reações possam ocorrer, sendo as principais bactérias, protozoários e fungos. Estes se alimentam da matéria orgânica no esgoto através do contato direto com a mesma, resultando na conversão em gás carbônico, água e material celular, uma vez que os microrganismos passam a uma fase de crescimento e reprodução do contato direto com a matéria orgânica presente no esgoto. A taxa de decomposição do material orgânico dependerá das condições ambientais, como temperatura, pH e oxigênio para condições aeróbias. (SPERLING. 2005)

A Figura 2 mostra esquema de tratamento da fase líquida do esgoto e produção de lodo através da digestão aeróbia, processo chamado de lodo ativado, que consiste de um tratamento biológico, geralmente utilizado em estações com alta capacidade de tratamento.

Figura 2 – Tratamento da fase líquida do esgoto



Fonte: SABESP (2018).

Em 01 pode ser classificada a cidade, na qual o esgoto derivado das higiênes pessoais segue para as redes coletoras até chegar na ETE. Em 02 são as redes de esgotos, nas quais consolidarão todos os resíduos para o começo do tratamento. O equipamento 03 corresponde as grades, nas quais são dispostas para retirar sujeiras mais volumosas e grosseiras, como plásticos, papéis, entre outros. Na caixa de areia, em 04, há a retirada de qualquer areia contida no esgoto. A decantação primária começa em 05, onde ocorre a sedimentação de partículas mais pesadas. Nos tanques de aerção, em 06, há microrganismos que atuam em conjunto com o ar para se alimentarem da matéria orgânica presente, formando o lodo e diminuindo a carga poluidora. Novamente em 07 ocorre a decantação secundária, para sedimentação dos sólidos restantes, enquanto a parte líquida já se encontra com aproximadamente 90% livre de impurezas. Após todo esse processo, há a distribuição para o rio, em 08 (SABESP, 2018).

Na Figura 3 é apresentado um esquema do tratamento da fase sólida do esgoto sanitário derivado de uma cidade.

Figura 3 – Tratamento da fase sólida do esgoto



Fonte: SABESP (2018).

Em 02 há a entrada do lodo primário, que vai para os adensadores, em 04, onde ocorre a separação da água dos sólidos através de sedimentação, tornando o lodo mais concentrado. Em 03 há a entrada do lodo secundário, que é enviado aos flotadores, em 05, onde há a separação de água dos sólidos através da inserção de água com microbolhas de ar. Os digestores, em 06, tem o trabalho de gerar metano e água através da atuação de microrganismos anaeróbicos que degradam a matéria orgânica do lodo, na qual passa a perder o odor desagradável. Em 07 estão localizados os filtros de prensa, que causam desidratação do lodo proveniente do condicionamento químico. Após passar pela esteira, em 08, o lodo desidratado vai para as tortas para aterro, na qual o mesmo é armazenado para ser disposto em aterro sanitário (SABESP,2018).

Na Figura 4 e Figura 5 são apresentadas fotografias de um adensador e um local de armazenamento de lodo de esgoto, respectivamente, na ETE da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) em Barueri, SP, durante uma visita técnica realizada no dia 8 de novembro de 2018 para conhecer o processo de tratamento. A ETE Barueri é maior planta de tratamento de esgoto da América Latina, abrangendo aproximadamente 5,76 milhões

de habitantes, a sua maioria da Grande São Paulo, coletando em torno de 9906 litros de esgoto por segundo (SABESP, 2018).

Figura 04 – Adensador na ETE Barueri



Fonte: Própria (2018)

Figura 5 – Visão de armazenamentos de lodo de esgoto gerados na ETE Barueri



Fonte: Própria (2018)

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam as quantidades de esgoto coletadas pela SABESP no estado de São Paulo, em diferentes anos.

Tabela 2 – Volume de esgoto coletado pela Sabesp no estado de São Paulo no ano de 2016.

Região*	1º trimestre	2º trimestre	3º trimestre	4º trimestre	Total
Metropolitana	241,5	246,7	246,8	252,8	987,8
Regional**	134,9	131,4	131,2	137,9	535,4
Atacado	5,8	7,5	7,9	7,8	29
Total	382,2	385,6	385,9	398,5	1.552,2

*Volume de Esgoto Faturado por região (milhões m³)

** Composto pelas Regiões do Litoral e Interior

Fonte: SABESP (2016).

Tabela 3 – Volume de esgoto coletado pela Sabesp no estado de São Paulo no ano de 2017.

Região*	1º trimestre	2º trimestre	3º trimestre	4º trimestre	Total
Metropolitana	253,9	252,4	257,6	260,2	1.024,1
Regional**	141,7	133,8	137,4	142,6	555,5
Atacado	9,0	8,9	8,6	11,1	37,6
Total	404,6	395,1	403,6	413,9	1.617,2

*Volume de Esgoto Faturado por região (milhões m³)

** Composto pelas Regiões do Litoral e Interior

Fonte: SABESP (2017).

Tabela 4 – Volume de esgoto coletado pela Sabesp no estado de São Paulo acumulado no ano de 2018.

Região*	1º trimestre	2º trimestre	3º trimestre	4º trimestre	Total
Metropolitana	260,7	260,8	-	-	521,6
Regional**	144,2	139,0	-	-	283,3
Atacado	7,7	8,5	-	-	16,1
Total	412,6	408,3	-	-	821,0

*Volume de Esgoto Faturado por região (milhões m³)

** Composto pelas Regiões do Litoral e Interior

Fonte: SABESP (2018).

De acordo com os resultados apresentados pelas Tabelas 2, 3 e 4, nota-se um aumento considerável na coleta de esgoto em relação aos anos de 2016, 2017 e 2018. Já no primeiro semestre de 2018, constata um valor absoluto de 820,9 milhões de m³, enquanto no primeiro semestre de 2017 o valor foi de 799,7, tendo um aumento de 21,2 milhões de metros cúbicos. Isto equivale a dizer que no primeiro semestre de 2018, a coleta de esgoto aumentou em 2,5% em relação a 2017 e 6,5% em relação a 2016.

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), pretende-se que até 2033 tenha uma universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil, obtendo um investimento estimado de 508 bilhões de reais até 2033, o que sugere uma nova oportunidade do potencial da utilização dessa matéria prima (GOVERNO DO BRASIL. 2017).

Para incentivar o investimento do saneamento básico, o Regime de Incentivo ao Desenvolvimento do Saneamento Básico (REISB) foi estabelecido, atuando através de concessão de créditos fiscais. Esses tipos de investimentos têm grande importância e como meta o abastecimento universal da água para consumo humano e coleta do tratamento de esgoto, aumentando a eficiência desses sistemas. (ABES, 2017)

Esses estudos e incentivos, correlacionados com os dados obtidos de coleta de esgoto entre os anos de 2016 e 2018, mostram o potencial para as ETEs de gerar cada vez mais lodo de esgoto, a matéria prima para a obtenção do biogás.

2.2.2 Lodo de Esgoto

A geração do lodo do esgoto, um dos principais subprodutos do tratamento do esgoto, é pertinente ao ciclo de saneamento. O tratamento de água e esgoto produz um resíduo que precisa ser descartado de forma adequada para que não haja problemas ao meio ambiente. O lodo removido através dos processos de tratamento primário e secundário possuem grande parte de água e uma pequena porção de sólidos.

A Figura 6 mostra uma fotografia do lodo de esgoto gerado na ETE da SABESP, em Barueri, SP.

Figura 6 – Lodo de esgoto gerado na ETE Barueri



Fonte: Própria (2018)

O lodo produzido dentro de uma ETE pode ser classificado de duas maneiras: lodo primário e secundário. O lodo primário é constituído por sólidos e semi-sólidos de processos primários de tratamento, ou seja, de processos de decantação primária. O lodo secundário diferencia por conter sólidos e semi-sólidos derivados de processos biológicos de tratamento do efluente, ou seja, grande concentração de microrganismos que se reproduzem da matéria orgânica (VOLTOLINI, 2011).

A disposição do lodo deve ser feita de acordo com as exigências estaduais e federais, tais como a Resolução nº 375/2006 do CONAMA, Lei Federal nº 12.305/2010, do Ministério do Meio Ambiente, entre outras. Ambas visam a preocupação por riscos ambientais ou saúde, ou seja, que possam interferir a natureza e os que a habitam (CONAMA, 2006).

A legislação vigente, bem como a sociedade, exige avanços na busca de soluções tecnológicas que procurem gerar menor quantidade dos resíduos e para o uso benéfico dos mesmos, atribuindo novos resultados derivados do lodo. Diante dessas questões e em conjunto

com o incentivo a fontes de energias renováveis, empresas do setor de saneamento buscam inovações e novas soluções em relação ao reaproveitamento e à disposição final desses resíduos.

A Financiadora de Estudos e Projetos, ou FINEP, cede financiamento a projetos atuais que introduzem esse contexto de reduzir o descarte de lodo em aterros sanitários, como um projeto da SABESP que utiliza um sistema de gaseificação com tecnologia especial para transformar o lodo das estações de tratamento em produtos sólidos com um peso de aproximadamente 5% do inicial, este podendo ser reutilizados em obras de construção.

A geração do esgoto doméstico e do próprio lodo está diretamente vinculada e influenciada à população urbana, seus hábitos de vida e consumos cotidianos, já que a composição dos mesmos varia conforme a fonte de esgoto, como por exemplo uma maior concentração de material orgânico pelo esgoto resulta de maior produção e eficiência do lodo.

Os benefícios do tratamento de resíduos são variados, como uma menor área para disposição, pela diminuição do volume dos resíduos, redução do teor de patogênicos, eliminação de odores, redução de emissões de dióxido de carbono e metano, produção de energia ao longo do processo, produção de biofertilizante, reduzindo a necessidade de sintéticos, entre outras questões que, ao longo prazo, mostram o bom desempenho do processo.

Segundo a ABIOGÁS, Associação Brasileira de Biogás e de Biometano, o Brasil produz cerca de 7 milhões de metros cúbicos (m³) de lodo por dia, uma proporção diária aproximada de 600 m³ de lodo por 120.960 L de esgoto tratado. A sua produção e seu aproveitamento é interferido pelo alto custo de tratamento adequado. Porém, com o crescimento esperado desse setor, consolidado por suas viabilidades econômicas e sustentáveis, estima-se que alternativas como a utilização de biogás por diferentes processos do lodo, ou então utilização de biofertilizantes, que são resultados já viáveis e mais utilizados atualmente, vão se tornar cada vez mais necessários e frequentes.

2.2.3 Biogás

2.2.3.1 Potencial do esgoto para produção de biogás

O biogás é composto por uma mistura de gases, onde o metano e o dióxido de carbono apresentam-se em maiores proporções. O potencial energético do biogás depende da quantidade de metano presente, que determina o seu poder calorífico (SALOMON; LORA, 2005).

Até certo tempo atrás, o biogás era usualmente conhecido somente como um subproduto gerado na digestão anaeróbia de resíduos orgânicos. No entanto, esta perspectiva tem mudado,

com o surgimento de fatores como a crise ambiental, a ratificação do Protocolo de Kyoto, a implementação do MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) e o rápido desenvolvimento econômico dos últimos anos, além da grande e frequente elevação do preço dos combustíveis fósseis.

A recuperação do biogás gerado nas ETEs contribui para o aumento da geração de energia a partir de fontes renováveis, bem como para cogeração, reduz os impactos ambientais e melhora a questão do saneamento básico no País, já que tem potencial para aumentar a viabilidade deste (SALOMON; LORA, 2005).

Com essa abordagem de desperdício de um produto que polui o meio ambiente e ainda que não seja aproveitado devidamente, tem sido amplamente estudado e analisado que esses resíduos orgânicos têm potencial para geração de energia. Um dos pequenos passos nessa direção é a situação de desperdício de energia. Dentro deste contexto, o mau descarte desses resíduos causa poluição ambiental e riscos à saúde, o dilema de desperdício de energia parece ser mais atraente.

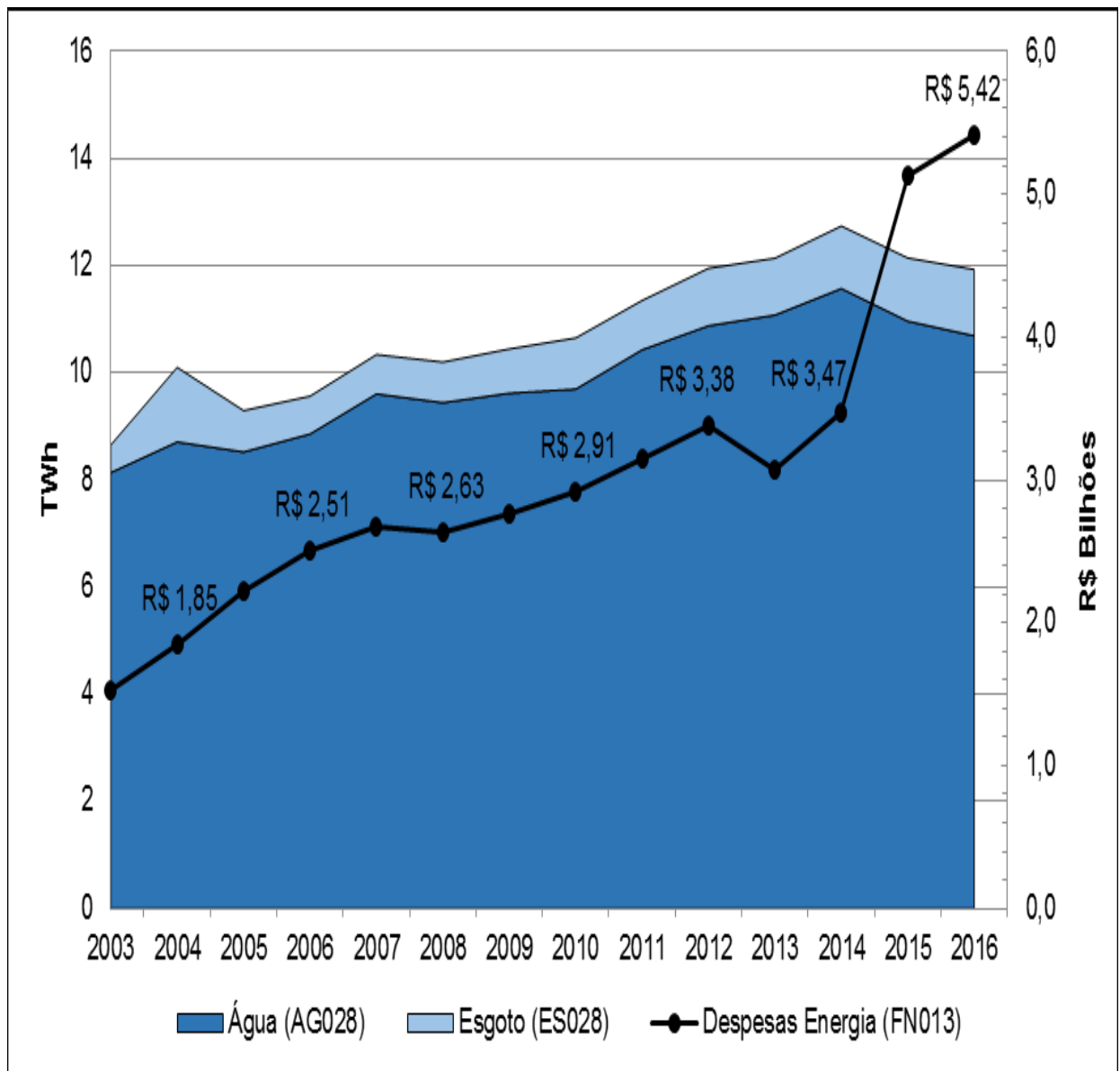
Com o aumento da população dos centros urbanos, concomitantemente ocorre o aumento do acúmulo de resíduos sólidos, o que faz crescer também os serviços de saneamento, incluindo a coleta e tratamento de resíduos de esgotos sanitários, resultando no crescimento da produção de lamas de ETEs. A utilização de biogás é uma alternativa de energia capaz de trazer contribuições ambientais, tanto pelo aproveitamento do esgoto quanto pela possível substituição de combustíveis fósseis, além de contribuição econômica e energética, com a maior representatividade no balanço energético de um país.

Em 2016, dados divulgados pelo Instituto Trata Brasil, divulgados pelo G1, mostram que aproximadamente 44,9% do esgoto gerado foi tratado. Em 2011 esse índice era de 37,5%, tendo um aumento de 7,4 pontos percentuais, o que mostra uma evolução no setor, porém ainda com um grande desperdício de uma fonte de energia com potencial.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2018), no ano de 2016, do total de energia consumida no Brasil, 2% da eletricidade deriva do setor do saneamento, um valor responsável por um consumo de 7 bilhões de kWh / ano.

Pela Figura 7, pode-se identificar uma tendência crescente do consumo de energia elétrica nos setores de saneamento do Brasil. Em 2016, as despesas com energia elétrica atingiram R\$ 5,41 bilhões, com um consumo aproximado de 12 TWh, grande parte composto pelos processos de abastecimento de água, aproximadamente 90%, de acordo com o gráfico.

Figura 7 - Evolução do consumo de energia elétrica nos setores de água e esgoto no Brasil de 2003 a 2016.



Fonte: SNIS (2018).

Existem alguns desafios a serem vencidos que impedem a ampla utilização do biogás como recurso energético, entre eles a incapacidade de geração tecnológica nacional, a purificação do biogás, o conjunto de fatores para uma viabilidade econômica, e penalidades por possíveis danos ambientais. Porém, as diversas vantagens da utilização de biogás, desde uma possível receita extra derivada da energia gerada e menor gastos com compras de energia elétrica, distribuindo uma maior representatividade do mesmo no balanço energético do país, ao mesmo tempo trazendo uma viabilidade de retorno do investimento a médio e longo prazo,

até todos os fins ambientais, levam a intensificação das implementações dos sistemas de reaproveitamento do lodo de esgoto.

2.2.3.2 Biogás do tratamento anaeróbio de águas residuais

A coleta de biogás a partir da digestão anaeróbica de lodo de ETEs e a subsequente queima ou combustão deste biogás para a obtenção de energia é uma opção atraente para a redução de GEE emissões. Mesmo que o metano apresente um poder de causa no aquecimento global 21 vezes maior do que o dióxido de carbono, esta molécula abriga uma quantidade de energia em seus átomos, e assim, o biogás pode ser usado para gerar energia elétrica e térmica (MMA, 2018).

A partir da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos são produzidos dois principais subprodutos que contêm um alto valor, o biogás, composto basicamente por metano e dióxido de carbono, e um efluente que pode ser usado como fertilizante, pois possui minerais e nutrientes essenciais para o desenvolvimento e sustento da agricultura.

A composição do biogás varia conforme as características e composição dos próprios resíduos reaproveitados, além de ter influência das condições do processo de digestão. Usualmente, abrangendo diversas fontes de gases analisados, o biogás é composto em seu volume de aproximadamente 50% a 80% de metano, 20% a 40% de dióxido de carbono, 1% a 3% de hidrogênio, e uma porção que pode chegar até 5% de compostos como gás sulfídrico, nitrogênio, amônia e monóxido de carbono (ZILOTTI. 2012).

Em alguns casos, podem ser encontrados vestígios de siloxano. Este é um subgrupo de compostos de sílica que contêm ligações Si–O com radicais orgânicos ligados a molécula de sílica incluindo grupos metilo e etilo, entre outros. Enquanto o metano confere um elevado valor energético ao biogás para derivação de energia elétrica, por exemplo, a presença de contaminantes como os siloxanos ou o próprio ácido sulfídrico levam a elevados custos de manutenção e interrupções na operação (BRANCO. 2010).

Siloxanos são uma matéria prima frequentemente utilizada em shampoos, lubrificantes e implantes médicos devido suas propriedades leves e suaves. Entretanto, de acordo com Branco (2010), a presença destes em resíduos orgânicos e esgotos não se decompõem e se transformam em dióxidos de silício arenoso que deteriora motores e prejudica suas eficiências. Estes contaminantes provocam diversos problemas, desde o momento que podem ser prejudiciais à saúde, até danificar os equipamentos de produção de energia. Por esses motivos,

é de grande importância fazer um tratamento prévio do biogás removendo os siloxanos, prolongando a vida útil dos equipamentos envolvidos no processo.

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico que envolve diversos tipos de reações com características diferentes entre elas. Pode-se considerar quatro diferentes processos até a conversão em biogás: hidrólise; acidogênese; acetogênese; metanogênese (LOPES, et al. 2011).

Na hidrólise, a parte sólida é fragmentada em partes menores, para que estas possam ser dissolvidas e então as bactérias possam intervir. Na acidogênese, as bactérias fermentativas atuam como degradadoras das moléculas providas da hidrólise, sendo transformadas em material orgânico simples, alguns derivados são: ácidos lácticos, ácidos graxos voláteis, álcoois, e compostos como dióxido de carbono, amônia, hidrogênio, entre outros. Na acetogênese ocorre a conversão dos produtos do último processo em compostos que formam os substratos para a produção de metano, como o acetato, hidrogênio e dióxido de carbono, sendo a maior parte convertida em ácido acético. Na metanogênese há a formação do metano, maior composto do biogás. As bactérias metanogênicas envolvidas no processo, transformam o hidrogênio, o dióxido de carbono e o ácido acético em metano. A última etapa na produção do biogás é a formação de metano, em conjunto com outros diversos compostos, como proteínas, aminoácidos e amônia (LOPES, et al. 2011).

Com relação ao controle de produção de biogás, são diversos fatores que podem influenciar o desempenho do processo da digestão anaeróbia, alguns que podem ser considerados os principais são:

- Temperatura – Um dos fatores mais importantes, já que processos biológicos são afetados por este, podendo interferir nos resultados finais de produção de biogás. As bactérias envolvidas no processo são sensíveis as variações de temperatura, além de que cada tipo diferente de bactéria envolvida no processo pode atuar com mais eficiência em intervalos de temperaturas diferentes. Uma faixa ideal para o processo em si é em torno de 35°C a 45°C, mais importante ainda é manter uma temperatura constante.
- pH e alcalinidade – Através da produção de dióxido de carbono na digestão anaeróbia, o carbonato derivado deste reage com os ácidos produzidos pelas bactérias, obtendo um controle do pH que poderia diminuir pela produção dos ácidos. Este equilíbrio deve manter o pH numa faixa aceitável que para que as bactérias produtoras de metano sobrevivam, geralmente entre 6,5 e 8,0, porém o valor ótimo vai depender do tipo de microrganismo, por exemplo, bactérias metanogênicas possuem um pH ótimo entre 7,0 e 7,2, já acidogênicas entre 5,8 e 6,2, o que pode gerar uma necessidade de não apenas controle, mas sim utilização de agentes alcalinos como NaOH (PESCADOR. 2001).

- Ausência de ar – Como o processo é anaeróbio, qualquer concentração mínima de ar pode alterar a eficiência da produção de biogás, ou até mesmo inutilizar todo o processo. Por esse motivo é de extrema importância o biodigestor ser perfeitamente vedado.

2.2.3.3 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA), também conhecido por UASB, é o equipamento mais utilizado atualmente para o processo de produção de biogás através da digestão anaeróbia, compostos por um leito de lodo biológico, no interior do qual, os microrganismos anaeróbios efetuam o tratamento do efluente (LIMA; PASSAMINI. 2012). A biomassa pode apresentar-se em flocos ou grânulos maiores e menores, sendo que o perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação próxima ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo). O cultivo de um lodo anaeróbio de boa qualidade é conseguido através de um processo cuidadoso de partida, durante o qual a seleção da biomassa é imposta, permitindo que o lodo mais leve, de má qualidade, seja arrastado para fora do sistema, ao mesmo tempo em que o lodo de boa qualidade é retido. O tempo de detenção do efluente nos reatores anaeróbios é em torno de 10 horas (LOPES, et al, 2011).

O reator é constituído pelas seguintes partes (JORDÃO; PESSOA. 2009):

- Câmara de digestão: é a parte inferior do reator, onde se localiza a manta de lodo e onde se processa a digestão anaeróbia. O esgoto entra pelo fundo do reator e passa pela manta de lodo, em sentido ascendente, é nesta manta que a matéria orgânica permanece e é digerida anaerobicamente.
- Separador trifásico: é um separador físico, que delimita a fase sólida, a zona de sedimentação, a fase líquida, por onde será coletado o efluente tratado, e a fase gasosa, uma câmara de coleta de biogás.
- Zona de transição: entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação superior.
- Zona de sedimentação: dentro do reator ocorre a sedimentação dos sólidos e flocos, que retornam à manta de lodo escorrendo pelas paredes do reator.
- Zona de acumulação de gás: o biogás produzido no processo de digestão sobe e fica acumulado na parte superior do reator, onde é coletado eventualmente aproveitado.

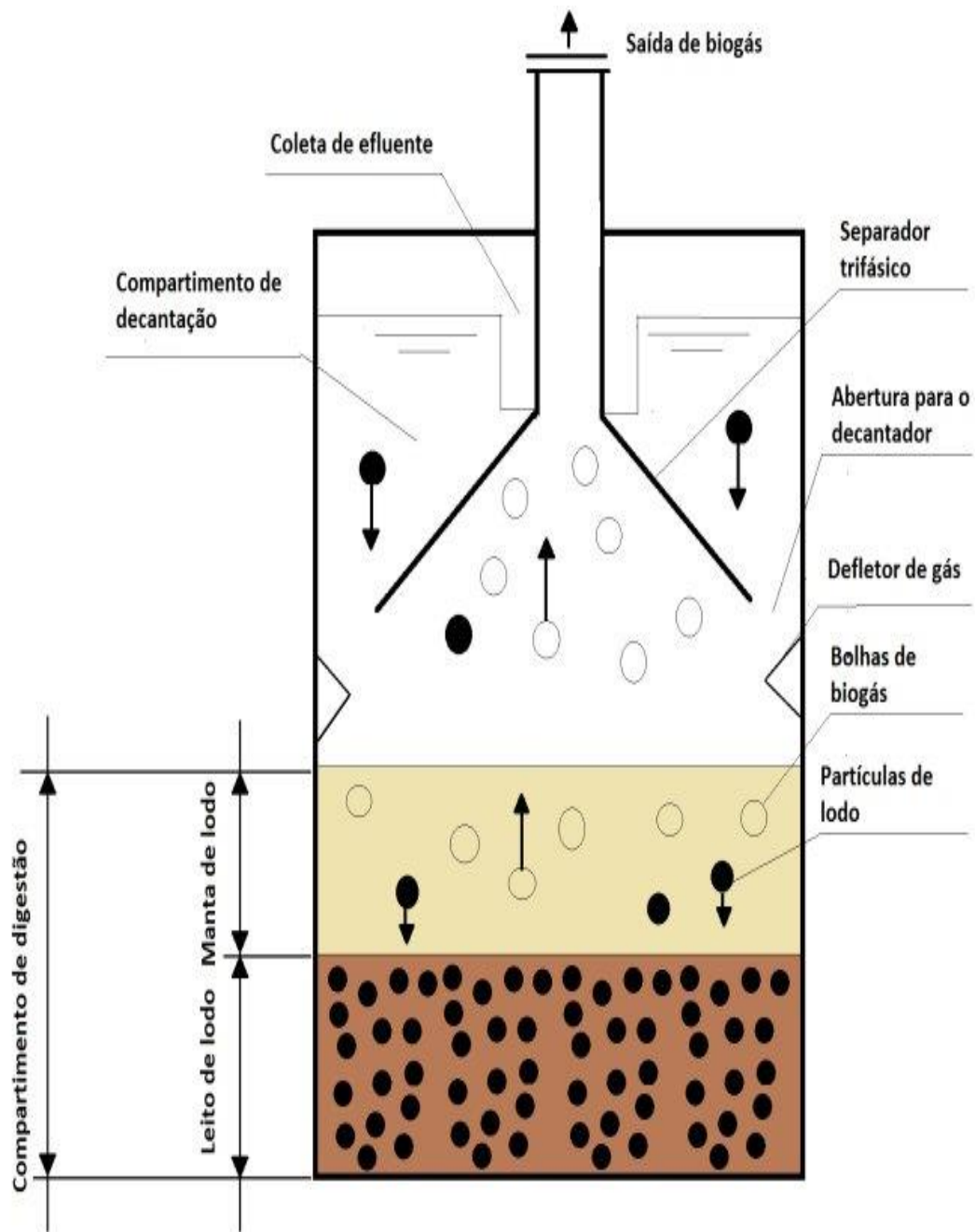
Nos reatores ocorre a formação de um leito de lodo com alta concentração de matéria orgânica e microrganismos junto ao fundo do reator. O descarte ocorre através de uma unidade

desaguadora, que conta com uma centrífuga para separação do lodo. O lodo centrifugado é descartado em uma caçamba e conduzido ao aterro sanitário. O descarte da espuma é realizado periodicamente ou em eventuais aumentos. Este procedimento é realizado fechando-se as válvulas de saída do reator e direcionando o fluxo para o leito de secagem de espuma. Este resíduo é armazenado em caçambas e destinado ao aterro sanitário devidamente licenciado para receber este tipo de material. (LOPES, et al. 2011)

Segundo Lopes, et al (2011) no momento que o efluente entra em contato com a manta de lodo que foi anteriormente produzido, gera a possibilidade de as bactérias produzirem o produto dos processos, que constitui de água, biogás, e outras substâncias. Os gases se mantêm na parte de cima do reator, na qual podem ser retirados através de tubulações e serem aproveitados para queima térmica, por exemplo. A parte sólida, ou seja, o lodo, é enviada para o decantador, sendo posteriormente enviado a área de tratamento, enquanto a parte líquida deve ser conduzida ao corpo receptor. A espuma, que também é um resíduo, é direcionada ao decantador e para o leito de secagem. É de extrema importância verificar o isolamento do reator, seja para não existir contato do oxigênio no processo, ou para controle de vazamento de gás gerado.

Na figura 8, pode-se observar os principais componentes de um reator do tipo UASB, com uma representação ilustrativa que consiste das zonas de transição, de acumulação de gás e de sedimentação, além da câmara de digestão.

Figura 8 – Representação de um reator UASB



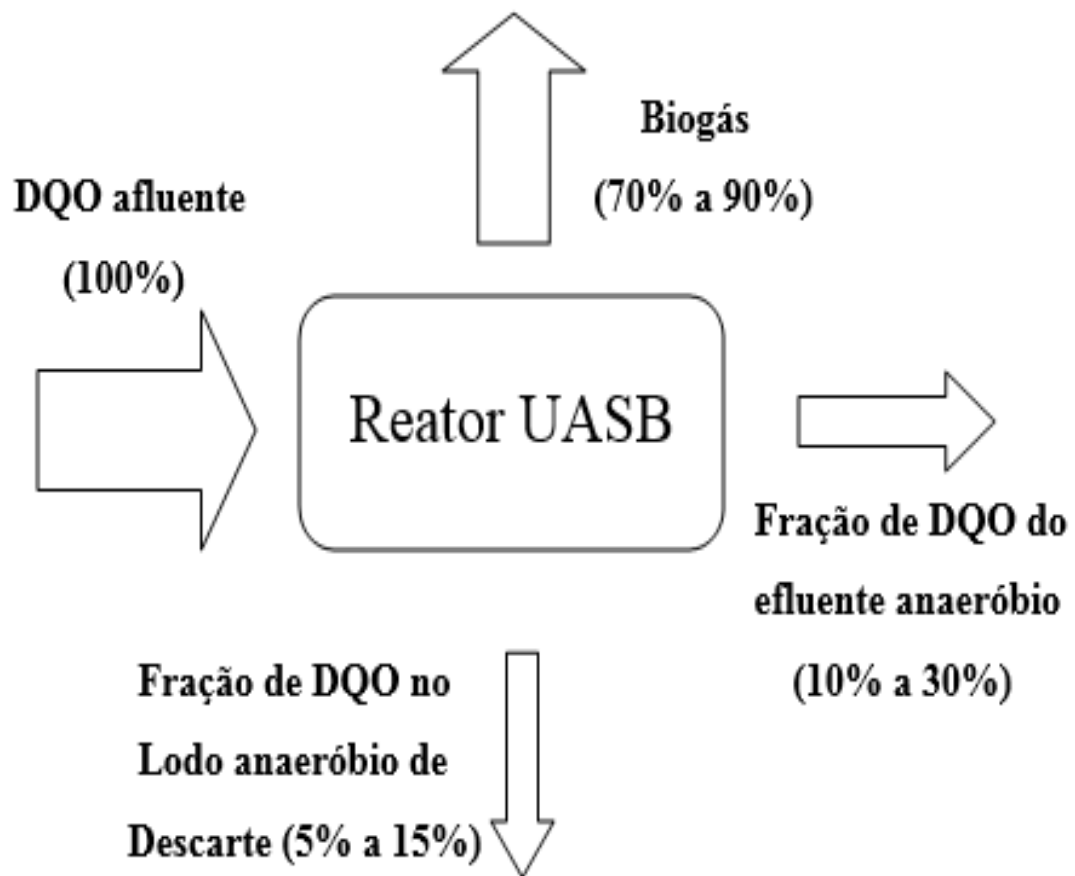
Fonte: Barros (2007).

O balanço de massa é uma importante análise a ser feita no processo para avaliar a quantidade de biogás produzida e a eficiência da produção. Existem alguns métodos de cálculo para estimar a produção de biogás através de biodigestores. A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é uma base confiável para estimar a taxa de produção teórica do metano derivada da

digestão anaeróbia. Segundo a CEE (2000), 1 kg de DQO gera em torno de 0,35 metros cúbicos de metano, lembrando que este valor varia de acordo com a matéria orgânica inicial presente.

A Figura 9 mostra o balanço de massa em DQO, indicando a matéria inicial e seus derivados finais.

Figura 9 – Balanço de massa relacionado à um reator UASB



Fonte: Adaptado de Cherchinaro (1997).

Vários tipos de reatores estão sendo estudados e implementados recentemente, sejam modelos UASB ou híbridos, que estão trazendo resultados positivos para o avanço da tecnologia. Na Tabela 5 foram apresentados alguns resultados através de experimentos realizados destes tipos de reatores para o tratamento de esgoto.

Tabela 5 - Parâmetros operacionais e desempenho de sistemas anaeróbios tratando esgoto sanitário

Referências	Temp. (°C)	CHV (m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹)	TDH (h)	v _s (m.h ⁻¹)	EDQO (%)	ESST (%)
Reator anaeróbio de manta de lodo e escoamento ascendente (UASB)						
Lettinga et al. (1983) de Man et al. (1988) apud	8-20	2,0	12,0	0,17	65-85	-
Oliva, L.C.H.V. (1997)	> 20	3,0	8,0	0,56	71-83	71-85
Florencio et al. (2001)	30	2,5	9,7	-	67	61
von Sperling et al. (2001)	30	6,0	4,0	-	85	-
Kalogo et al. (2001)	25-35	1,4	2,4	1,25	54	51
Aiyuk et al. (2004)	33	2,4	10	1,00	55-60	-
Leitão, R.C. (2004)	12-20	4,0	6,0	0,64	59	76
Carvalho, K.Q. (2006)	20-25	3,0	8,0	0,26	58	-
de Almeida et al. (2009)	20-25	3,1	7,7	0,59	65	70
Reator anaeróbio de leito fixo						
Elmitwalli et al. (2002) ^a	13	6,0	4,0	0,53	81	-
Araujo Jr et al. (2013) ^{b,c}	26	6,7	3,0	0,56	65	69
Reator anaeróbio híbrido						
Elmitwalli et al. (2002) ^a	13	3,0	8,0	0,29	64	-
Trabalho Atual ^b	27	5,5	3,9	1,25	55	63

a – Reatores utilizando espuma de poliuretano como material suporte para imobilização celular.

b – Reator utilizando Biobob como meio suporte para a imobilização celular

c – Dados extraídos de relatório técnico de planta piloto “Reatores de Leito Fixo Sequenciais Anaeróbio-Aeróbio utilizando um Inovador Material Suporte no Tratamento de Esgotos Sanitários, desenvolvida e operada pela empresa Bio Proj Tecnologia Ambiental Ltda.

CHV – Carga hidráulica volumétrica; TDH – Tempos de detenção hidráulica; v_s – Velocidade ascensionais; DQOt – Demanda química de oxigênio total; EDQOt – Eficiência na remoção de DQOt; SST – Sólidos em suspensões totais; ESST – Eficiência na remoção de SST.

Fonte: Araujo (2014).

2.2.3.4 Casos implementados

Além da geração de eletricidade, esse gás pode ser usado para aquecimento doméstico, combustível para veículos e injeções de rede de gás em indústrias químicas. A necessidade de remoção de impurezas caminha de acordo com o nível de complexidade de sua aplicação. Segundo estudiosos, o potencial de capacidade instalada de geração elétrica de biogás no Brasil

pode chegar a 7 GW e, trabalhando em conjunto com essa oportunidade, uma consequente maior utilização de fertilizantes, fundamentais para maior desenvolvimento da produção agrícola. Com a intensa atividade agrícola brasileira, o modelo de biofertilizantes derivados da digestão anaeróbia é um investimento considerável no aspecto de mercado. Um exemplo em um contexto atual é o Projeto Brasil-Alemanha para a Promoção de Utilização de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), que incentiva o uso de fertilizantes.

Considerando que a participação da biomassa no setor energético brasileiro como um todo foi de aproximadamente 8% nos últimos anos, dados da ABIOGÁS (2017) indicam que o potencial para o crescimento é muito maior, já que, diariamente, o Brasil produz cerca de 7 milhões de metros cúbicos (m³) de lodo, 15 milhões de m³ de resíduos de alimentos e 56 milhões de m³ de sucroenergético (derivado da cana de açúcar).

No mundo, países como a Alemanha já implantam projetos de reaproveitamento de resíduos, com aproximadamente 8 mil plantas de biogás somente no seu território nacional. Destes vem o incentivo a utilização dessas práticas no território brasileiro.

No Brasil, algumas plantas de produção de biogás e biometano já estão sendo implantadas ou em operação.

Um projeto do Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio), aprovado na Universidade de São Paulo (USP), desfruta do esgoto gerado no Conjunto Residencial da USP (CRUSP) e no restaurante central dentro da universidade para produzir biogás. A capacidade do biodigestor RAFA utilizado no processo é de gerar cerca de 14 quilowatt-hora (kWh) de energia, relativo à captação aproximada de 72 metros cúbicos (m³) de esgoto diário, produzido por cerca de 500 pessoas. (QUINTO. 2006)

Em 2018, a CS Bioenergia, formada pela estatal Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e pelo grupo Cattalini Bio Energia, recebeu uma das primeiras licenças para a produção de biogás através do lodo de esgoto, gerado na ETE Belém, em Curitiba. Aproximadamente 1000 m³ de lodo e 300 toneladas de resíduos orgânicos que eram desperdiçados diariamente serão reaproveitados, tendo a usina expectativas de gerar 2,8 megawatts de energia elétrica através dos biodigestores, energia suficiente para abastecer aproximadamente duas mil residências populares, conforme a CS Bioenergia, além dos pós resíduos serem aproveitados como biofertilizantes (MARTINS. 2018).

3 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou analisar a grande mudança dentro do mercado do setor energético no mundo, que passou a exigir grande influência de energias renováveis dentro de diversas empresas, seja por parte de distribuição ou para consumo próprio. Através dessas novas influências, novas oportunidades de aproveitamentos energéticos estão sendo implantadas, e a utilização de esgoto sanitário para produção de biomassa, principalmente de biogás, é uma ótima alternativa dentro de Estações de Tratamento de Esgoto, já que hoje muitas desperdiçam essa fonte de energia descartando seus resíduos pós tratamento em aterros sanitários. Estes resíduos, chamado de lodo de esgoto, são poluentes ao meio ambiente quando descartados, gerando necessidade de novos aterros para sua disposição. Como solução, este pode ser transformado em biogás através de biodigestores, gerando energia elétrica para suprir as necessidades de consumo da unidade de tratamento de esgoto, além dos resíduos sólidos que podem ser utilizados na agricultura, como biofertilizantes. Indo mais além, esse produto necessita de gastos para ser descartado, como transporte para sua disposição.

Países europeus, em especial a Alemanha, na qual está mais desenvolvida nesse setor, já instalam diversos tipos de reatores, como do tipo UASB, em suas estações de tratamento para o aproveitamento dessa fonte de energia, levando muitos aterros a serem inutilizados, além de vantagens de reaproveitando para consumo de energia elétrica.

Pode-se observar uma boa eficiência na produção de biogás do processo, com uma análise de balanço massa que identifica uma produção de 70% a 90% de biogás, dependendo da matéria orgânica envolvida. Além disso, referências mostram que estudos que avaliaram estudos com reatores UASB que obtiveram uma eficiência na remoção de DQOt entre 51% e 85%, na maioria dos casos valores próximos a 70%, que pode ser considerada uma boa eficiência de processo.

Levando em conta essas considerações, mesmo necessitando de um investimento inicial alto para instalar esses processos, existem diversas vantagens energéticas, ambientais, econômicas e até fiscais na implementação de processos para produção de biogás nas unidades de tratamento, principalmente se existe uma coleta em grande escala de habitantes, na qual em médio ou longo prazo irá trazer retorno para a companhia.

REFERÊNCIAS

ABBI. **Brasil e Alemanha firmam parceria para o desenvolvimento da bioeconomia avançada.** 2018. Disponível em: <<http://www.abbi.org.br/pt/noticia/brasil-e-alemanha-firmam-parceria-para-o-desenvolvimento-da-bioeconomia/>>. Acesso em: 22 ago. 2018.

ABES. **ABES apoia a aprovação do REISB:** regime de incentivo ao desenvolvimento do saneamento básico. 2017. Disponível em: <<http://abes-dn.org.br/?p=12414>>. Acesso em: 05 out. 2018.

ABIOGÁS. **Brasil desperdiça energia limpa enquanto queima combustível fóssil.** 2017. Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/brasil-desperdica-energia-limpa>>. Acesso em: 15 set. 2018.

ALBORNOZ, L.L. **Estudo de caso:** avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes de um campus universitário. 2015. 37f. Tese (Diplomação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2015.

ANP - Agência Nacional do Petróleo. **Dados estatísticos.** 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

ARAUJO, T.L.S. **Desempenho de reator anaeróbio híbrido (leito fixo e manta de lodo):** tratando esgoto sanitário em escala piloto. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2014.

BARROS, R.M. Energia de biogás da digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e de aterros sanitários. **Revista O Futuro da Energia**, Belo Horizonte, v.1, n.1, p.1-9, 2016.

BRANCO, M.S.R.C. **Avaliação do impacto da presença de siloxanos em sistemas de aproveitamento de biogás.** 2010. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

CEE – CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Guia técnico de biogás.** Portugal: AGEEN – Agência para a Energia, 2000.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios:** princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997.

CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011:** dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Brasília, maio 2011.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 375, 29 ago. 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.** Brasília, ago. 2006.

ENMC - ENTIDADE NACIONAL PARA O MERCADO DE COMBUSTÍVEIS. **Biocombustíveis no mundo.** Disponível em: <<http://www.enmc.pt/pt-pt/atividades/biocombustiveis/benchmarking/>>. Acesso em: 14 set. 2018.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2012.** 2013. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2015.** 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2016.** 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

FIESP. **O que é bioeconomia.** Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/o-que-e-bioeconomia/>>. Acesso em: 03 set. 2018.

G1. **Saneamento avança, mas Brasil ainda joga 55% do esgoto que coleta na natureza, diz estudo.** 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-avancas-brasil-ainda-joga-55-do-esgoto-que-coleta-na-natureza-diz-estudo.ghtml>>. Acesso em: 01 out. 2018.

GOVERNO DO BRASIL. **País terá plano nacional de saneamento básico.** 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/saude/2013/12/pais-tera-plano-nacional-de-saneamento-basico/#conteudo>>. Acesso em: 08 set. 2018.

INVESTING.COM. **Petróleo brent futuros:** visão geral. 2018. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/brent-oil>>. Acesso em: 10 out. 2018.

LEITE, R.C.C.; LEAL, M.R. L. V. **O biocombustível no Brasil.** São Paulo: Novos Estudos – CEBRAP, 2007.

LOPES, A.O. et al. **Produção de metano em estações de tratamento de esgotos e cogeração de energia elétrica:** um estudo de caso na ETE em Passos – MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31., Belo Horizonte, 2011. **Anais...** Belo Horizonte, 2011.

MARTINS, H. Usina passa a produzir biogás a partir de resíduos orgânicos e lodo de esgoto. **Agência Brasil.** 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2018-02/usina-passa-produzir-biogas-partir-de-residuos-organicos-e-lodo>>. Acesso em: 12 out. 2018.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Efeito estufa e aquecimento global.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 04 out. 2018.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/485-plano-nacional-de-saneamento-b%C3%A1sico>>. Acesso em: 05 out. 2018.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Lei n. 12.305, 02 ago. 2010. **Disposições gerais**. Brasília, DF, 2010.

LIMA, A.C.G.; PASSAMANI, F.C. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE-UFES**. 2012. 106f. Tese (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2012.

PESCADOR, F.S. **Tratamento de esgoto doméstico em reatores sequenciais em batelada anaeróbios (RSBAn)**. 2001. 136f. Tese (Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.

QUINTO, A.C. **Projeto do CENBIO mostra viabilidade de geração de energia a partir do esgoto doméstico**. 2006. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/repgs/2006/pags/246.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de sustentabilidade 2017**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=93>>. Acesso em: 03 ago. 2018.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **ETE Barueri**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=56>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tratamento de esgotos**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Volume de água e esgoto**. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/Calandraweb/CalandraRedirect/?temp=2&temp2=3&proj=investidoresnovo&pub=T&nome=Volume+de+agua+e+esgoto&db=&docidPai=AB82F8DBCD12AE488325768C0052105E&campo1=2017&campo2=A&campo3=R>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. **Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil**. Itajubá: UNIFEI, 2005.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. 2016. 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 21 out. 2018.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFGM, 2005. 452 p. v.1.

VOLTOLINI, C.A. Co-digestão anaeróbia e potencial de geração de biogás de lodos de esgotos e resíduos sólidos orgânicos. 2011. 63f. Tese (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

ZILOTTI, H.A.R. Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de cascavel para a geração de energia elétrica. 2012. 39 f. Tese (Pós-Graduação em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2012.