



PRODUÇÃO DE ENERGIA COMO SUBPRODUTO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

FRANCISCON, Anderson¹

RESUMO

No Brasil menos de 50% da população tem acesso à rede de coleta e tratamento de esgoto, tal situação ocorre em parte devido ao alto custo de implantação e manutenção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Dentre os custos de manutenção de uma ETE, pode-se destacar o fator energético que é o segundo maior custo operacional. Nesse contexto, esta pesquisa visa abordar os diferentes tipos de energias possíveis de serem produzidas como subprodutos do tratamento de esgotos domésticos. Para a elaboração desta pesquisa, adotou-se a metodologia de revisão, pesquisando e analisando a literatura já existente. A pesquisa denotou diferentes formas de obtenção de energia, como: energia térmica, elétrica, combustível de automóvel e células de combustível. Conclui-se que é possível produzir energia em ETEs e que esse processo é benéfico à estação e para a sociedade.

Palavras-chave: Produção de energia em ETEs; Energias limpas e alternativas; Tratamento de esgoto.

ENERGY PRODUCTION AS A BY-PRODUCT IN SANITARY SEWAGE TREATMENT PLANTS

ABSTRACT

In Brazil less than 50% of the population has access to a sewage collection and treatment network. This situation is due in part to the high cost of implementing and maintaining the Sewage Treatment Plant (STP). Among the costs of maintaining a STP, the energy factor can be highlighted, which is the second highest operating cost. In this context, this research aims to address the different types of energy possible to be produced as by-products of domestic sewage treatment. For the elaboration of this research, it adopted the methodology of revision, researching and analyzing existing literature. The research denoted different ways of obtaining energy, such as: thermal energy, electric, car fuel and fuel cells. It is concluded that it is possible to produce energy in STP and that this process is beneficial to the station and to society.

Key words: Energy production in STPs; Clean and alternative energies; Sewage treatment.

¹ Arquiteto estatutário na Prefeitura de Campo Mourão -PR; Tecnólogo em Construção Civil -UTFPR; Arquiteto e Urbanista- UNIPAR; Especialista em Gestão Pública Municipal -UEM; Mestre em Sociedade e Desenvolvimento (PPGSeD-UNESPAR). Email: a.franciscon@hotmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O homem sempre buscou soluções para melhoria de sua qualidade de vida, seja durante o nomadismo, onde almejava melhores alimentos e abrigos, por meio de suas andanças, ou em seu período sedentário, no qual sempre procurou alternativas para melhorar seu habitat, proporcionando-lhe mais comodidade e melhor qualidade de vida.

Durante e após a primeira revolução industrial, intensificou-se o processo de densificação das cidades, nas quais tal processo trouxe sérios danos físicos e sanitários ao meio urbano, originando cidades insalubres. Essas consequências levaram o homem a desenvolver técnicas de saneamento básico, “recolhimento de resíduos sólidos urbanos, coleta e tratamento de esgotos”.

No entanto, no Brasil, o processo de coleta e o tratamento de esgotos são serviços pouco acessíveis, pois apenas cerca de 50% da população nacional tem acesso a eles. O reduzido índice de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) deve-se em parte ao elevado custo de implantação, manutenção e operação do sistema. Sabe-se que o segundo maior custo operacional de uma ETE, refere-se aos custos energéticos que vêm majorando no decorrer dos anos, devido à crise energética, consequência do alto consumo e pouco investimento em desenvolvimento de fontes de energias renováveis.

Estudos comprovam a capacidade de se produzir energia em ETEs, desta forma pode-se reduzir custos operacionais por meio de sua utilização, ou até mesmo vender parte à população e consequentemente gerar retorno financeiro.

Recentemente a ONUDI, instituição pertencente à Organização das Nações Unidas, disponibilizou um Programa de Capacitação em Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe. O Curso apresenta técnicas de produção de energia renováveis diversas, como: miniusinas eólicas e hidráulicas, eficiência energética em edificações, energia solar e produção de biogás.

A produção energética em ETEs torna-se duplamente eficiente, pois trata-se de um serviço de saneamento e produção de energia renováveis, por consequência livrando o ambiente da poluição através dos dejetos humanos e da produção de energias impactantes na natureza, como: energia nuclear e hídrica “alagamentos modifica o bioma local”.

Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar o potencial de produção energética em ETEs. Pesquisar diferentes tipos de energias produzidas, suas diferentes técnicas de produção, benefícios trazidos à sociedade e principais barreiras de implantação constituem os objetivos específicos da pesquisa em tela.

Dessa forma, os resultados estão sendo apresentados neste artigo, para tanto foi efetuado um levantamento bibliográfico sobre as técnicas de produção de energias em ETEs. Utilizou-se um referencial teórico obtido através de pesquisas em meio digital e/ou impresso (artigos científicos, jornais, revistas, livros).

O material didático utilizado é atemporal. No processo de obtenção de dados, pesquisou-se pelas seguintes palavras chaves: Produção de energia em ETEs, Energias limpas e alternativas, biogás.

O processo de levantamento bibliográfico iniciou-se de modo seletivo, no qual foram selecionados materiais de cunho associável e pertinente ao tema; posteriormente leitura mais profunda de caráter crítico e analítico, cujas informações foram ordenadas e sintetizadas.

O resultado da pesquisa mostrou que são diversas as formas de captação de energia possíveis, aplicáveis como: energia térmica, elétrica, e combustível para automóveis. Sendo assim, foram evidenciados o potencial e a necessidade de se implantar técnicas de produção de energia limpa em estações de tratamento de Esgotos.

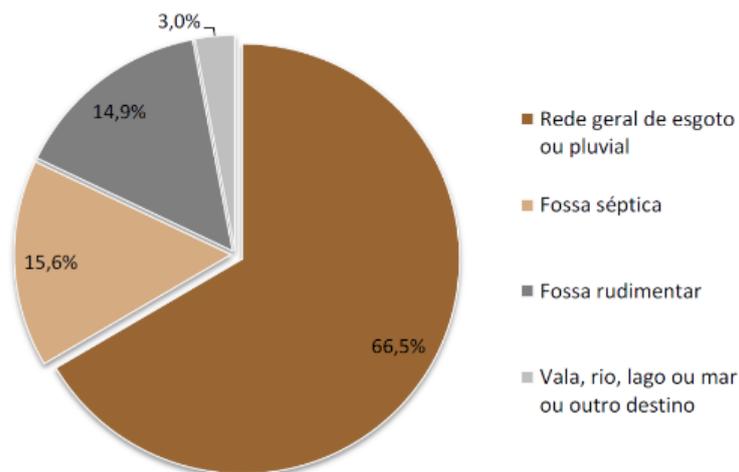
2. SANEAMENTO, SUSTENTABILIDADE E POLÍTICAS PÚBLICAS

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico - Plansab (2019), a ausência de soluções adequadas no tocante à coleta e tratamento de esgoto, constitui-se um vetor de moléstias parasitárias e infecciosas, além do mais, contaminando, solo e corpos hídricos. Nesse contexto, por meio da Figura 1, ilustramos as distintas soluções empregadas no afastamento do esgotamento sanitário em nível nacional.

Com base na Figura 1, tem-se a rede geral de esgotou ou pluvial como técnica mais empregada, atendendo 66,5% dos domicílios. Importante destacar que “[...] Ainda assim, 17,9% dos domicílios brasileiros não possuem solução adequada de esgotamento sanitário, o que corresponde a 12,4 milhões de domicílios destinando seus esgotos para fossas rudimentares, valas, rios, lagos, mar ou outros destinos”. Plansab (2019, p. 31).

É considerável destacar que segundo Alves (2016), cerca de cem milhões de brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto. Corroborando com o autor, Plansab (2019) explica que houve um aumento substancial no tocante à coleta e tratamento de esgoto, evoluindo de 37,8% em 2010, para 46,0% em 2017.

Figura 1 – Percentual de domicílios atendidos com esgotamento sanitário, por forma de afastamento, no País, em 2017



Fonte: Plansab (2019, p. 31).

No Brasil, o direito ao saneamento básico é assegurado pela Constituição Federal de 1998 e pela Lei 11.445/2017, competindo ao estado seu mantimento e implementação de políticas públicas. É importante destacar que o saneamento básico é elemento fundamental na manutenção da saúde pública para isso, a Lei nº 8.080/1990 que estabeleceu o Sistema Único de Saúde (SUS) menciona a obrigação do sistema promover, proteger e recuperar a saúde, cuja finalidade é propor ações inerentes aos aspectos sanitários.

A correlação entre saneamento básico e saúde pública é destacada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab (2019, p.9), na qual “[...] o saneamento básico assume papel central na política de saúde pública. Ou seja, o SUS reconhece explicitamente a importância do saneamento básico para a melhoria das condições de saúde da população”.

Além do mais, além da saúde pública, o saneamento básico se relaciona aos fatores ambientais, assim, surgindo a necessidade de haver integrações entre distintas políticas. De acordo com o Plansab (2019) há uma integração entre as políticas de recursos hídricos e saneamento, a qual é regulamentada pela Lei nº 9.433/1997, que normatiza o uso racional/sustentável da água, garantindo sua disponibilidade a gerações futuras, além do mais “[...] possui interfaces muito claras com o setor de saneamento, especialmente em relação às captações de água para abastecimento das populações, o lançamento e tratamento adequado dos esgotos sanitários e o aproveitamento de águas de chuva.” Contribuindo com o saneamento básico e sustentabilidade, assim, cria-se o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA). (PLANSAB 2019, p.9).

Na busca pela integração, segundo o Plansab (2019), tem-se como importante marco, a criação Ministério das Cidades, possibilitando assim uma visão do sistema e integração das políticas públicas: planejada e coordenada por um único órgão pertencente à esfera federal. Em 2007, implanta-se a Lei nº 11.445/2007, denominada Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LDNSB).

Por fim, existindo uma base jurídica/normativa, tem-se o Plano Nacional de Saneamento Básico-Plansab, revisado a cada quatro anos. Principal instrumento no tocante à política pública nacional de saneamento básico, “O Plano contempla [...] os quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.” Dentre os princípios fundamentais do Plano, temos: universalização, equidade, integralidade, intersetorialidade, sustentabilidade, participação e controle social, e matriz tecnológica.

O Plansab estabelece metas para um horizonte de vinte anos no período de 2014 a 2033, dentre elas têm-se as diretrizes relacionadas ao saneamento, à sustentabilidade e produção de energias, (Quadro 1). Conforme Quadro 1, o Plansab (2019) foca em políticas públicas relacionadas ao saneamento, produção de energia limpas e busca constante pela sustentabilidade, estabelecendo objetivos e traçando metas.

Nesse contexto, com base nas políticas de integração e metas traçadas pelo Plansab (2019) tem-se como grande objetivo tornar-se acessível e universal o processo de coleta e tratamento de esgoto. Além do mais, o Plansab preza pela utilização dos recursos naturais de forma consciente, assim possibilitando às gerações, futuro acesso a tais recursos.

Importante destacar que o Plansab preza pelo uso racional de energia, pautado no uso de energias limpas e renováveis. O uso racional, a reciclagem e soluções alternativas, são temáticas desejadas na contemporaneidade, é nesse contexto que A ONUDI (Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe) desenvolveu um programa de capacitação em energias renováveis, sendo um dos temas “O Biogás”, cujo autor, Carreras (2013), apresenta técnicas de produção do biogás junto ao tratamento de: esgoto doméstico domésticos, agropecuários e resíduos sólidos urbanos.

Nesse contexto, integramos três características desejadas: o tratamento de esgoto, a produção de energias alternativas e sustentabilidade. Além do mais, além do Bio-gás nas estações de tratamento de esgoto existem outras formas de produção alternativas de energia, pautadas em outras tecnologias como: painéis fotovoltaicos; Mini-hidroelétricas e bio-óleo.

Quadro 1 – Objetivos de desenvolvimento sustentável que possuem relação com o saneamento básico

Objetivos	Metas
Saneamento	Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade.
	Até 2030, melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando o lançamento de materiais e substâncias perigosas, reduzindo pela metade a proporção do lançamento de efluentes não tratados e aumentando substancialmente o reciclo e reuso seguro localmente.
	Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e ao saneamento, incluindo, entre outros, a gestão de recursos hídricos, a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso.
	Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais e promover o controle social para melhorar a gestão da água e do saneamento.
Energia Limpa e Acessível	Até 2030, manter elevada a participação de energias renováveis na matriz energética nacional.
	Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.
Sustentabilidade e políticas públicas	Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.
	Aumentar a coerência das políticas para o desenvolvimento sustentável.

Fonte: Plansab (2019, p. 172-173) adaptado.

2.1. Biogás

O biogás é um dos principais subprodutos gerado durante a depuração do esgoto doméstico. Lobato (2011) define o biogás como uma mistura de gases gerados durante a digestão anaeróbia da matéria orgânica. O biogás possui forte e característico odor, devido a sua composição química múltipla, contendo diversos gases, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do Biogás oriundos de Reatores anaeróbicos, aterros sanitários e digestores de lodo.

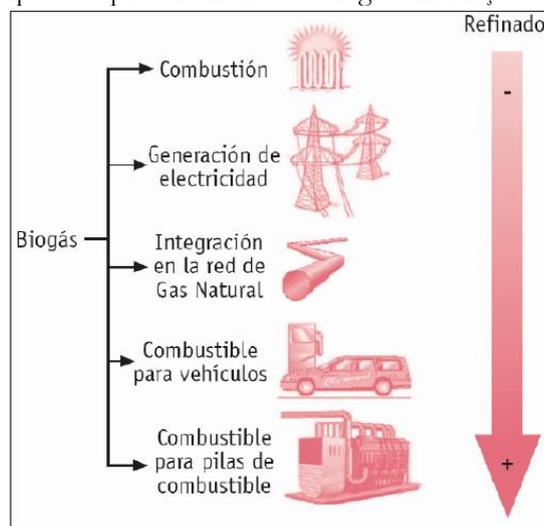
Parâmetro	Unidade	Composição volumétrica típica		
		Biogás de reatores anaeróbicos	Biogás de aterro sanitário	Digestores de lodo
Metano – CH ₄	%	60 a 85	45 a 50	60 a 70
Gás Carbônico – CO ₂	%	5 a 15	30 a 45	20 a 40
Monóxido de Carbono - CO	%	0 a 0,3	0 a 0,2	-
Nitrogênio – N ₂	%	10 a 25*	0 a 15	<2
Hidrogênio – H ₂	%	0 a 3	Traços a >1	-
Sulfeto de hidrogênio – H ₂ S	ppmv	1000 a 2000	10 a 200	Até 1000
Oxigênio – O ₂	%	traços	0,8	-

Fonte: Lobato (2011, p.49).

Por meio da Tabela 1, nota-se uma diversidade de compostos químicos presentes no biogás. Dentre os compostos químicos, tem-se o gás metano em maior intensidade, podendo corresponder entre 45 a 85% do biogás. Na produção de energia, quanto mais rico em metano for o bio-gás, maior potencial haverá na produção de energia.

Nesse sentido, o bio-gás (subproduto originado na depuração do esgoto), torna-se matéria prima na produção de energia, em diferentes utilizações, ou seja: combustão, eletricidade, gás natural, combustível para veículos e aplicações células de combustível. Cada combustível exige meios fabris distintos, consequentemente exigindo maior ou menor grau de refinação. Assim, a Dirección General De Recursos Agrícolas Y Ganaderos (2010) apresenta um infográfico ilustrando o ciclo de produção do biogás e seus derivados (Figura 2).

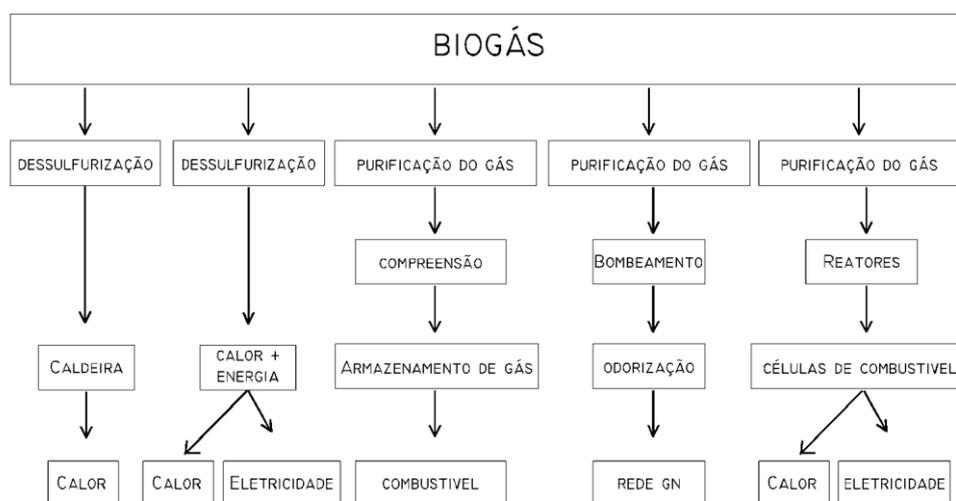
Figura 2 – Diferentes tipos de aproveitamento do biogás em função do seu grau de depuração



Fonte: Dirección General De Recursos Agrícolas Y Ganaderos (2010, p.23).

Conforme mencionado, o biogás torna-se matéria prima para outras cinco fontes energéticas, conforme Figura 2. Assim, fica evidente existir diferentes produtos energéticos, cada qual com suas peculiaridades, exigindo maior ou menor grau de refinação, conseqüentemente impactando em seu custeio produtivo. Dessa forma, seu uso na combustão exige um tratamento mais prévio, em contraponto, sua aplicação em células de combustível exige maior grau de refinamento. Nesse contexto, as diferentes utilizações do biogás e seus respectivos graus de tratamento é ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Grau do tratamento do biogás em função da utilização



Fonte: Fondo Europeo de Desarrollo Regional (2010, p.134).

Diferentes produtos energéticos exigem diferentes processos fabris, conforme a figura 03. Assim, evidenciando diferentes produtos finais resumindo a: calor, eletricidade, combustível e gás natural.

É de fundamental importância destacar que o biogás trata-se do mais difundido e estudado subproduto gerado em uma ETE. Seu aproveitamento é de suma importância, pois o biogás, além de possuir odor desagradável, é altamente nocivo ao meio ambiente. Além do mais, o elemento é gerado de forma instantânea em biodigestores anaeróbicos. Portanto, tem-se um elemento facilmente gerado e ao mesmo tempo, altamente poluitivo, que pode ser transformado em energia, conseqüentemente, reduzindo a poluição atmosférica e caracterizando-se como uma fonte de energia limpa.

2.2. Painéis fotovoltaicos

Algumas empresas de tratamento de água e esgotos vêm desenvolvendo técnicas de captação, geração e utilização de energia solar por meio de painéis fotovoltaicos, desta forma utilizando essa eletricidade para reduzir/suprir sua demanda energética.

De acordo com Tormann (2016), as empresas paulistas B&F Dias e SMG Tecnologia desenvolveram um sistema de aeração (a ser utilizado em ETEs) ativado por energia de origem solar, utilizando-se dessa energia os aeradores garantem o ar necessário para o tratamento aeróbico dos efluentes. O sistema é fornecido em kits, com motores de potências entre 2 e 10 CV. Os motores de menor potência (2CV) necessitam de 10m² de placas (1500W), já para o kit de 10CV é necessário 48m² de placas fotovoltaicas. Os kits São formados por motores, placas fotovoltaicas, inversores e demais acessórios, conforme Figura 4.

Figura 4 – Componentes do Kit de Aeração da B&M Dias



Fonte: B&Fdias (2019, p.1).

Segundo Tormann (2016), a utilização de energia solar no auxílio no sistema de aeração é fruto da experiência da empresa B&F Dias, adquirida em operação das suas mais de 2 mil plantas de aeração instalada em todo território nacional. De acordo com o autor, há forte incidência solar na planta de tratamento de esgoto, sendo um potencial subutilizado. Nesse contexto, a utilização de energia alternativa como fonte energética no funcionamento dos aeradores é de grande importância, pois conforme Tormann (2016, p.1), “[...] a energia gasta no sistema de aeração responde por mais de 50% do consumo de uma estação de tratamento de esgotos domésticos ou industriais”.

Além do mais, Segundo Tormann (2016), o sistema apresenta resultados a curto, médio e longo prazo. Tomando-se como base o funcionamento diário (10 horas) de um aerador de 5VC e custos de implantação de R\$ 40.000,00, podendo economizar cerca de 7.000,00 reais/ano, sendo um retorno sobre investimento próximo de seis anos.

No mesmo sentido, GCR Staff (2016) discorre sobre a produção de energia solar gerada por meio de placas fotovoltaicas em uma grande estação de tratamento de água em Londres. A empresa instalou pouco mais de 23 mil placas (Figura 5), com uma área equivalente a cerca de 8 campos de futebol: (57.120,01 m²).

Figura 5 – Implantação de placas fotovoltaicas em estação de tratamento de água



Fonte: GCR Staff (2016, p.1).

O sistema será capaz de produzir 6,3 megawatts, devendo gerar 5,8 milhões de kW-h em seu primeiro ano, oferta que é capaz de atender a demanda de cerca de 1.800 casas, explica GCR Staff (2016). A estação de tratamento de água (ETA) visa até 2020 suprir cerca de 33% de seu consumo energético, utilizando energias renováveis; em 2014/2015, a empresa gerou cerca de 12,5% da energia necessitada pela mesma.

Há tempos os painéis fotovoltaicos vêm sendo utilizados como opções de produção energética em edificações e agora vem ganhando importância em estação de tratamento de água e esgotos. São produtos de grande potencial energético, no entanto exige grande área de instalação.

2.3. Mini-hidroelétricas

Geração de energia hidrelétrica, técnica já conhecida e consolidada, amplamente utilizada em âmbito global, no entanto surge como novidade quando aplicado em outras áreas em nível de microescala. A técnica é bastante conhecida no tocante à produção de energias em grandes barragens e quedas d'água, no entanto, o município de Portland – Estados Unidos da América, tem obtido energia, utilizando técnica similar no interior de tubulações adutora de água potável, técnica que pode ser perfeitamente utilizada em rede de tratamento de esgoto, nos trechos pós gradeamento e caixa de areia.

Segundo Prado (2016), Portland, em parceria com a empresa Lucidenergy, desenvolveu e implantou um sistema de produção de energia elétrica em rede de abastecimento de água. Trata-se da geração de eletricidade por meio de turbinas instaladas no interior da tubulação. O autor explica que o sistema também pode ser aplicado em empresas e demais atividades que utilizam de grande rede hidráulica, como empresas de irrigação e/ou de distribuição de água. Essas empresas podem utilizar a energia produzida e vender o excedente ao município/estado. É importante destacar que a eletricidade produzida é de grande benefício ao meio ambiente.

Os Estados Unidos da América vêm investindo em energias alternativas, explica Prado (2016), segundo o autor além de Portland, a cidade de Riverside utiliza a energia produzida nos tubos hidráulicos para abastecer seu sistema luminoso urbano, assim, minimizando custos operacionais da urbe no tocante a gastos energéticos, ao mesmo tempo, fornecendo segurança a seus habitantes, por meio de vias públicas iluminadas.

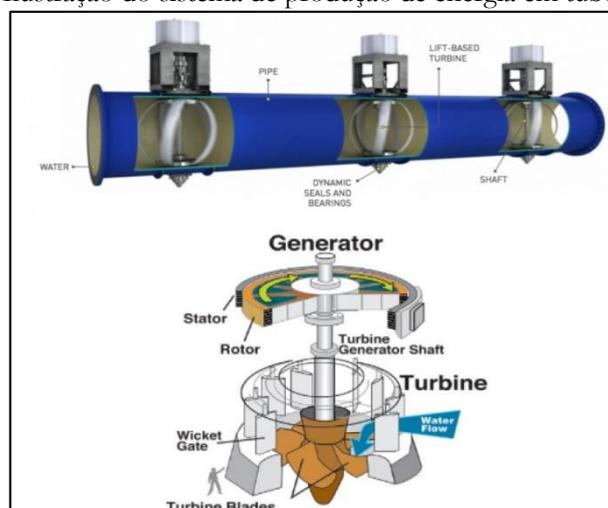
De acordo com Prado (2016), há grande relação entre água e energia:

...água e energia são duas coisas extremamente relacionadas. “É necessária uma grande quantidade de energia elétrica para entregar água potável e é necessária uma grande quantidade de água para produzir eletricidade”, comenta. Ou seja, qualquer município que precisa de água e eletricidade precisa encontrar outra forma de gerar energia. A LucidEnergy é uma boa opção. (PRADO, 2016, p.01).

A produção de energia em tubos hidráulicos é constante, quando comparada a outras formas de energia limpa, como: eólica e solar, que ficam submetidas às boas condições climáticas. Trata-se de uma produção de energia semelhante às usinas hidrelétricas (Figura 6), porém sem impactos ambientais para sua implantação e manutenção, explica Prado (2016).

Conforme Prado (2016), o sistema deve ser instalado preferencialmente em trechos com inclinação acentuada, possibilitando, assim, o escoamento gravitacional em grande velocidade, fazendo com que as bobinas girem e produzem energia. Em Portland instalou-se 4 turbinas em um tubo de 107 cm de diâmetro, espera-se que o sistema gere em torno de 1100 MWh de energia por ano, o que seria o suficiente para abastecer cerca de 150 residências.

Figura 6 – Ilustração do sistema de produção de energia em tubos hidráulicos



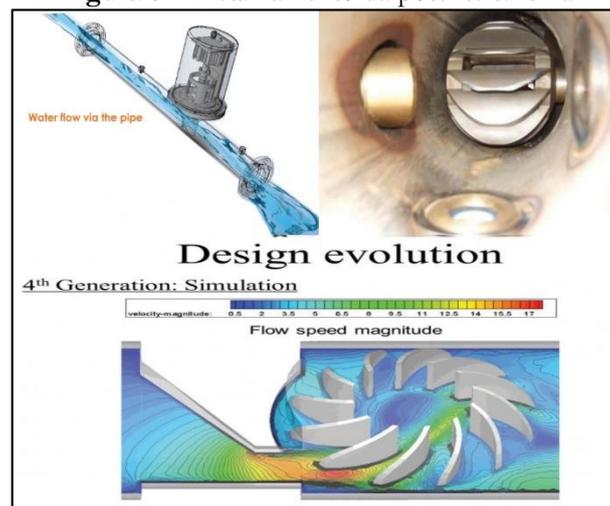
Fonte: Prado (2016, p.1) adaptado.

Nesse mesmo sentido, segundo Technology Frontier (2012), os engenheiros chineses vêm desenvolvendo e aplicando técnicas de produção de energia por meio de hidrelétricas acopladas a tubos

hidráulicos, visando aproveitar os 7800 quilômetros de rede de abastecimento de água que existente na cidade de Hong Kong. Espera-se da técnica a produção de 700kw/h e redução anual de 560 kg de emissões de dióxidos de Carbono.

Trata-se de um dispositivo “gerador hidrelétrico externo” e altamente eficiente, no qual uma turbina esférica mergulha em água corrente recuperando a pressão residual, no momento que a água circula através da turbina, aciona um eixo central rotativo e microgerador, produzindo energia, explica Technology Frontier (2012). A Figura 7 ilustra o sistema.

Figura 7 – Detalhamento da potente turbina



Fonte: Technology Frontier (2012, p.2), adaptado.

O sistema de produção de energia em turbinas corresponde a um cenário já conhecido e explorado pelo homem, no entanto sua aplicabilidade em tubos hidro-sanitários constitui-se ainda de uma prática recente, já apresentando resultados financeiros, técnicos e ambientais. Quando aplicado em estação de tratamento de água, o sistema apresenta bons índices de funcionamento. Para Estação de tratamento de esgoto o sistema pode apresentar algumas dificuldades, visto que a presença de detritos sólidos, ácidos e outros elementos químicos no fluído, assim, consequentemente exigindo estudos de técnicas e materiais alternativos.

2.4. Bio-óleo

Alguns autores, como Leal (2010), Mocelin (2007), Kim & Parker (2008) e Cao & Pawłowski (2012) realizaram estudos acerca da possibilidade em produzir bio-óleo por meio da pirólise do lodo de esgoto.

Segundo Cao & Pawłowski (2012), a pirólise trata-se de um processo termo-químico endotérmico, podendo extrair energia a partir de materiais orgânicos, independentemente se a matéria orgânica é biodegradável ou não. Este processo vem sendo utilizado na produção de bioenergia a partir de biomassa. Todos os produtos gerados são capazes de produzir calor e eletricidade. O bio-óleo produzido tem características semelhantes ao petróleo bruto, podendo ser utilizado para a produção de combustíveis para automóveis.

De acordo com Leal (2010), em sua pesquisa, o lodo foi submetido ao processo de pirólise com temperaturas entre 300 e 600 °C, durante uma hora, produzindo entre 3,45 e 5,74% de bio-óleo. O produto originado apresentou alto poder calorífico, característica que o classifica utilizável como combustível ou na indústria química. Decorrido o processo de pirólise, há três subprodutos: destilado, bio-óleo e fração sólida (Figura 8).

Figura 8 – Subprodutos da pirólise: a) Destilado; B) Bio-óleo; C) Fração sólida.



Fonte: Leal (2010, p.83), adaptado.

Mocelin (2007, p.V) pirolisou lodo a temperaturas entre 350-700 °C na cronologia entre 30 e 120 minutos, como resultado obteve-se até 17% de óleo combustível de alto poder calorífico. “Tais resultados mostram as potencialidades do emprego do lodo de esgoto sanitário na produção de óleo combustível e de adsorventes de baixo custo”.

Sendo assim, por meio da pirólise do lodo de esgoto é possível obter combustível alternativo de característica semelhante ao petróleo, no entanto sua produção é considerada baixa, apenas 17% da massa pirolisada é convertida em bio-óleo. Ainda destaca-se a necessidade de consumir energia para produzir energia, ou seja, para produzir o combustível, necessita-se queimar combustível. Nessa situação, tal técnica não se apresenta vantajosa, carecendo, assim, de aperfeiçoamento de forma a melhorar seu custo benefício e minimizar os impactos ambientais.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, o sistema de coleta e tratamento de esgoto ainda é precário, pois apenas cerca de 50% da população brasileira tem acesso aos mesmos. Destaca-se, dessa maneira, que o saneamento básico, sendo um direito legalizado na Constituição Federal de 1988 e amparado pela Lei nº 8.080/1990 do (SUS), deve ser considerado elemento fundamental na manutenção da saúde pública.

Nos últimos anos, já no século XXI, o saneamento básico ganhou novos aliados pautados em ferramentas jurídicas e administrativas, ou seja, Leis e agências reguladoras. Além do mais, perceberam a correlação existente entre saneamento básico, saúde pública, sustentabilidade, produção de energias limpas e fatores financeiros, conseqüentemente surge a necessidade de haver políticas integradas. Nesse contexto, cria-se o Ministério das Cidades como marco fundamental.

Visando a integração entre as áreas, tem-se o Plano Nacional de Saneamento Básico - Plansab, cujos objetivos e diretrizes são traçados para os anos de 2014 a 2033, dentre os quais podemos destacar: ampliar e aperfeiçoar o serviço de coleta e tratamento de esgoto; minimizar poluição ambiental; focar na sustentabilidade e utilização de energias limpas renováveis.

Desse modo, a maximização na coleta e tratamento de esgoto, juntamente com a conjuntura da produção de energias limpas e renováveis são algumas das metas traçadas pelo Plansab. Nesse contexto, respondendo nosso objetivo geral, “analisar o potencial de produção energética em ETE’s.

Diante do exposto, a presente pesquisa ilustrou diferentes possibilidades de produção de energia em estação de tratamento de esgoto, muitas delas, já aplicadas em redes de distribuição e tratamento de águas. Dentre as diferentes técnicas de produção de energia, tem-se: biogás, energia solar, energia hidrelétrica e bio-óleo. Cada tipologia tem suas particularidades, produzindo diferentes elementos energéticos, necessitando de técnicas e orçamentos específicos para cada situação.

Assim, com base na pesquisa, conclui-se que uma Estação de Tratamento de Esgoto apresenta diversas possibilidades de produção de energia, sendo perfeitamente possível aliar as técnicas de tratamento de esgoto e produção energética de forma pacífica e eficaz. A energia produzida pode ser consumida pela própria ETE, ou servir a terceiros, como residências e automóveis.

Para as pesquisas futuras, sugere-se quantificar custos de implantação e operacionais de cada sistema de produção energética traçando uma projeção do custo/benefício a curto, médio e longo prazo. Também é interessante conhecer de forma aprofundada as transformações sociais, culturais e ambientais necessárias para cada sistema.

4. REFERÊNCIAS

ALVES, Luíz de Oliveira. Tratamento de esgoto. **Infoescola**. Disponível em <<https://bit.ly/2ARivCN>>. Acesso em maio de 2020.

B&FDIAS. **Energia solar para tratamento de efluentes. Sim, é possível!**. 02/10/2019. Disponível em <<https://bit.ly/2ZuUYSr>>. Acesso em maio de 2020.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 set. 1990.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 8 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 08 jan. 2007.

CAO, Yucheng; PAWŁOWSKI, Artur. Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.3, v.16, p. 1657 – 1665, abril de 2012. Disponível em <<https://bit.ly/3c0mGJv>>. Acesso em maio de 2020

CARRERAS, N. **O biogás**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe. ONUDI, 2013.

DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS AGRÍCOLAS Y GANADEROS. **El Sector del Biogás Agroindustrial en España**. Madrid, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/3ghEROk>>. Acesso em maio de 2020.

FONDO EUROPEU DE DESARROLLO REGIONAL. **Informe complementario a estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás en extremadura**. Diciembre 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/3cXSoIx>> Acesso em maio de 2020

GCR STAFF. Europe's biggest floating solar panel project charges ahead in London. **Chartered Institute of Building**. February 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2TyuwUu>>. Acesso em maio de 2020.

KIM, Y; PARKER, Wayne. **A technical and economic evaluation of the pyrolysis of sewage sludge for the production of bio-oil**. *Article in Bioresource Technology* · April 2008. Disponível em <<https://bit.ly/3ebDgHQ>>. Acesso em outubro de 2016.

LEAL, Edna Ruth Mendes. **Aplicação do processo de pirólise lenta ao lodo de esgoto adicionado de óxido de cálcio e ferro para obtenção de bioóleo combustível**. (dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Agroenergia. Palmas – TO, 2010. Disponível em <<https://bit.ly/3bZLuBt>>. Acesso em maio de 2020.

LOBATO, Livia Cristina da Silva. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico.** Tese(doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2011, 184f. Disponível em: <<https://bit.ly/3bXcSjv>>. Acesso em maio de 2020.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** Versão revisada. Brasília 07/03/2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3c2lCVj>>. Acesso em maio de 2020.

MOCELIN, Cristiane. **Pirólise de lodo de esgoto sanitário: produção de adsorvente e óleos combustíveis.** (Dissertação de mestrado). UTFPR-PR. 2007. Disponível em. <<https://bit.ly/2LUMnR3>>. Acesso em maio de 2020.

PRADO, Jean. Uma cidade usou a tubulação de água para gerar energia elétrica. **Tecnoblog.** 2016. Disponível em: < <https://bit.ly/2A2doPR>>. Acesso em maio de 2020.

TECHNOLOGY FRONTIER. **Electricity from water mains. Institute for Entrepreneurship. PolyU The Hong Kong.** Nov 2012. Disponível em: < <https://bit.ly/3ge1aEB>>. Acesso em maio de 2020.

TORMANN, Emerson. F. **Sistema fotovoltaico economiza energia de tratamento de esgoto.** Desenvolvido por empresas nacionais, equipamento usa placas para alimentar aeração das estações. Janeiro de 2016. Disponível em: <<https://www.etormann.tk/2016/01/sistema-fotovoltaico-economiza-energia.html>>. Acesso em maio de 2020.