

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU): UMA ANÁLISE DO SETOR ENERGÉTICO EM ASCENSÃO COM BASE NO IMPACTO AMBIENTAL E NA QUALIDADE DE VIDA

FERREIRA, Helen Gonçalves Romeiro¹

PEDROSO, Gustavo Malavota²

ALVES, Rodrigo Gomes³

CAHLI, Gustavo Monnerat⁴

MELLO, Sílvia Conceição Reis Pereira⁵

Recebido (Received): 03-02-2018 Aceito (Accepted): 11-04-2020

Como citar este artigo: FERREIRA, H. G. R.; PEDROSO, G. M.; ALVES, R. G.; CAHLI, G. M.; MELLO, S. C. R. P. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): uma análise do setor energético em ascensão com base no impacto ambiental e na qualidade de vida. **Formação (Online)**, v. 27, n. 51, p. 65-83, 2020.

Resumo

Esse artigo é uma revisão bibliográfica abordando a utilização de RSU (Resíduo Sólido Urbano) na produção do biogás como fonte energética. Foi utilizada como base bibliográfica, literatura especializada, incluindo levantamento sobre a legislação vigente e artigos científicos selecionados por meio de busca nos bancos de dados do Scielo e Google acadêmico. Temas relevantes foram considerados na pesquisa, como: produção e coleta de lixo no Brasil, descarte inadequado, sustentabilidade, potencial energético. A pesquisa destaca que a energia é um direito de todos, conforme preconizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) e a exploração do biometano como fonte energética contribuiria para a soberania da matriz energética brasileira. Além de possibilitar a diminuição da emissão dos gases do efeito estufa, a melhoria da viabilidade econômica, recuperação dos materiais descartados e na redução de práticas de destinação inadequadas, assim como dos impactos negativos à saúde de milhões de brasileiros. Não obstante, observa-se também a produção de lixo e seu descarte com base no impacto ambiental e na qualidade de vida, visto que é indispensável a análise dos resíduos tóxicos em cada tipo de disposição final. Mostrando assim a necessidade de investir nesse setor, através de novas tecnologias e técnicas, além da necessidade de se fechar lixões e aterros controlados que são locais de descarte inapropriados e apresentam concorrência direta com aterros sanitários para a captação de rejeitos.

Palavras-chave: Aterro sanitário. Energia limpa. Sustentabilidade. Impacto ambiental.

URBAN SOLID WASTE (USW): ANALYSIS OF THE GROWING ENERGY INDUSTRY BASED ON ENVIRONMENTAL IMPACT AND ON QUALITY OF LIFE

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local do Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Campus Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ, e-mail: helen.bioromeiro@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9515-1247>.

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local do Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Campus Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ, e-mail: gustavo@malavota.com.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-4251>.

³ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local do Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Campus Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ, e-mail: galves.rodrigo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1287-4093>.

⁴ Professor Dr. do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Local, Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, e-mail: monnerat1988@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1010-6314>.

⁵ Pesquisadora Dra. da Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro (FIPERJ), e-mail: reispereiramello@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5537-3563>.

Abstract

This article is a bibliographical review addressing the use of Urban Solid Waste (USW) in producing biogas as a source of energy. A specialized literature was used as a bibliographic base, including data compilation on current legislation and selected scientific articles via Scielo and Google academic databases search. The following relevant themes were considered in the research: waste production and collection in Brazil, inadequate disposal, sustainability, potential energy. The research highlights the fact that electricity is a human right, as it has been advocated by the United Nations (UN) and the exploitation of biomethane as power source would contribute to the sovereignty of the Brazilian energy matrix. In addition to enabling the reduction of greenhouse gas emission, better economic viability, recovery of discarded waste and the reduction of improper disposal practices, as well as the negative health impacts of millions of Brazilians. Nevertheless, there is also the production of waste and its disposal based on environmental impact and on quality of life, since analyse the analysis of toxic residues in each type of final disposal is indispensable. Thus showing the need to invest in this sector, through new technologies and techniques, besides the need to close dumps and controlled landfills as unsuitable disposal sites and are in direct competition with landfills for the capture of waste.

Keywords: Landfill. Clean energy. Sustainability. Environmental Impact.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU): UN ANÁLISIS DEL SECTOR ENERGÉTICO EN ACENSO CON BASE EN EL IMPACTO AMBIENTAL Y LA CALIDAD DE VIDA

Resumen

Este artículo es una revisión bibliográfica que aborda el uso de RSU (Desechos Urbanos Sólidos) en la producción de Biogás como fuente de energía. Se utilizó literatura especializada como base bibliográfica, así como, el levantamiento de legislación vigente y artículos científicos seleccionados mediante búsquedas en las bases de datos académicas Scielo y Google. Fueron considerados temas relevantes en la investigación, tales como, producción y recolección de residuos en Brasil, descarte inadecuado, sostenibilidad y potencial energético. La investigación destaca que la energía es un derecho de todos, como lo defienden las Naciones Unidas (ONU). Así mismo, se considera que, la explotación del Biometano como fuente de energía podría contribuir para la soberanía de la matriz energética brasileña. Además de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, mejorar la viabilidad económica, recuperar materiales desechados y reducir las prácticas inapropiadas de eliminación, así como los impactos negativos en la salud de millones de brasileños. Sin embargo, también se observa, la producción de residuos y su eliminación en función del impacto ambiental y la calidad de vida, ya que es esencial analizar los residuos tóxicos en cada tipo de eliminación final. Mostrando así, la necesidad de invertir en este sector, a través de nuevas tecnologías y técnicas, además de la necesidad de cerrar vertederos a cielo abierto y vertederos controlados que son sitios de disposición inadecuados y presentan competencia directa con los rellenos sanitarios para la recolección de residuos.

Palabras clave: Relleno sanitario, Energía limpia, Sostenibilidad, Impacto ambiental.

1 Introdução

A energia em todas as suas formas se tornou essencial na vida do homem. A humanidade ao longo da sua evolução sempre procurou maneiras de tornar o meio em que vive, o mais cômodo possível para si. Sendo a eletricidade a forma de energia mais vantajosa e estratégica para o desenvolvimento socioeconômico (ANEEL, 2005).

Pinas et al. (2016) argumentaram que esse desenvolvimento econômico impulsiona a procura de novas fontes de energia causando uma instabilidade ambiental gerando a necessidade de uma cooperação global, em prol de outras atividades produtivas menos mitigadoras ao planeta para que não comprometa a existência das futuras gerações. Medeiros

et al. (2016) subentendem como sustentabilidade uma relação harmônica entre o homem com a natureza na utilização dos seus recursos de forma consciente para solucionar suas próprias necessidades. Pádua (2004) afirma que para essa relação ser harmoniosa e perpétua é necessário que a humanidade como um todo trabalhe em conjunto para construir e praticar estratégias para preservação do planeta.

Pacheco (2006) diz que energias limpas, renováveis e acessíveis são oriundas da natureza, como exemplo, conversão da radiação solar, tendo em vista ser a principal fonte de energia inesgotável na Terra. Outras fontes limpas de energia como: geotérmica, marítima, eólica, hidrelétrica e solar não alteram o equilíbrio térmico do planeta. Energias não renováveis são finitas e esgotáveis, ou seja, não se renovam, tais como: carvão mineral, petróleo, gás natural e nuclear. São as principais fontes utilizadas mundialmente e que causam danos ao planeta devido a liberação de gases poluentes na atmosfera.

De acordo com MME em pouco mais de três anos após a criação do Proinfa - Programa de Incentivo às fontes alternativas de Energia elétrica, em 2004, com objetivo de aumentar a utilização de recursos renováveis, na geração de energia baseado em fontes eólicas, biomassa ou hidrelétricas houve um aumento significativo na produção de energia. Antes do PROINFA os números eram de 22 MW gerados através de recursos renováveis. Após a criação do programa os números são de 414 MW, o que demonstra o interesse brasileiro em energias limpas.

A ONU vem trabalhando em prol da preservação do planeta através de estratégias principalmente coletivas, tendo incluso nos seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são metas a serem cumpridas até 2030 a ODS 7 que trata de assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos (ONU BRASIL, 2015).

A biomassa segundo o IPEA (2015) é um campo em ascensão no Brasil, e uma das fontes com grande potencial energético e baixo impacto seria o uso da biomassa proveniente dos resíduos sólidos urbanos (RSU). No Brasil, a destinação inapropriada leva os resíduos ao estado de putrefação ao ar livre, gerando gases de fortes odores fétidos e emissão de metano, altamente nocivo à atmosfera, bem como a produção de chorume, que contamina o solo e as águas.

Esse artigo realiza uma revisão bibliográfica, de modo a entender energias limpas e as ações antrópicas em conjunto com necessidade de se extinguir lixões e controlar aterros sanitários de modo a estimular a produção de energia transformando o metano em biometano. O presente estudo identifica os pontos positivos na utilização de aterros sanitários e estimula a

exploração de matéria orgânica para a produção de biometano, de forma a contribuir na geração de empregos evitando a saturação ambiental e garantido a soberania energética do país. Neste artigo serão abordados tópicos como: Produção de lixo, impacto ambiental e na qualidade de vida, resíduos tóxicos, aterros sanitários para geração de energia e um olhar para o futuro.

2 Metodologia

Foi realizado um levantamento bibliográfico, através de Revisões Literárias em artigos científicos, protocolos, consensos, diretrizes e livros sobre a influência de lixões e aterros sanitários cujo gases como metano, poderia ser transformado em biometano a fim de gerar energia a localidades próximas e diminuir o impacto ambiental na atmosfera. Foram consultadas publicações nos períodos de 1983 a 2019, sob as bases eletrônicas dos portais da Scielo e Google acadêmico. A pesquisa foi efetivada a partir dos seguintes descritores: Aterro sanitário. Energia limpa. Sustentabilidade. Impacto ambiental.

3 Produção de lixo

Com o crescimento das cidades houve o aumento da quantidade de resíduos gerados, conseqüentemente a elevação de materiais a serem descartados de forma apropriada para se evitar uma possível contaminação do solo, da água e do ar (BIDONE, 2001).

No período entre 2016 e 2017 a população brasileira apresentou aumento de 0,75% e acompanhando esse crescimento, a geração per capita de RSU apresentou aumento de 0,48% computando um total de 214.868 toneladas diárias de RSU no país (ABRELPE, 2017).

A Lei nº 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) enfrentando os principais problemas ambientais, sociais e econômicos resultantes da manipulação indevida dos resíduos sólidos. Impondo responsabilidade pelo resíduo gerado tanto para pessoas físicas como jurídicas, públicas ou privadas. Entretanto a essa lei não se aplica aos rejeitos radioativos, pois os mesmos possuem uma legislação específica (BRASIL, 2010) e Ferreira (2018) argumenta que o tratamento de resíduos sólidos é uma questão complexa, devido a heterogeneidade da natureza dos materiais e dos seu variados graus de poluição.

A partir de dados, estimou-se que foi produzido um montante total anual de RSU de 78,4 milhões de toneladas no país, observando um crescimento de 1% em relação ao ano de

2016. Entretanto em 2017 o montante coletado foi de 71,6 milhões de toneladas, considerando que o serviço de coleta abrange 91,2% do país o que demonstra um déficit de 6,8 milhões de toneladas de resíduos que não foram coletados e fatalmente tiveram um destino impróprio (ABRELPE, 2017).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define na NBR 10004 os resíduos sólidos urbanos (RSU) como quaisquer resíduos que se encontram em estados sólido e semissólido resultante de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola de serviços e de varrição. Inserindo a essa os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água que foram gerados em equipamentos e instalações com o propósito de controlar a poluição e qualquer fluido que seja impraticável o seu despejo na rede pública de esgotos ou corpos de água, necessitando de uma possível solução técnica que seja economicamente viável. Sendo isentos dessas normas os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos por terem sua própria legislação específica (ABNT, 2004).

Segundo (ABRELPE, 2017) os serviços de limpeza urbana nos municípios custaram em média cerca de R\$10,37 por habitante ao mês, chegando a mover R\$ 28,5 bilhões no Brasil. Contabilizando que no ano de 2017 os 1.668 municípios da região Sudeste produziram 105.794 toneladas/dia de RSU onde se estima que apenas 98,1% desses do mesmo foram coletadas, deixando 27,6% desses resíduos que equivale a 28.606 toneladas/dia são destinados a lixões e aterros controlados. A região Sudeste tem um gasto mensal com os serviços de limpeza urbana de R\$ 13,43 movimentando ao ano o equivalente R\$ 15,4 bilhões, tendo um salto de crescimento de aproximadamente 3,4% em relação a 2016.

Leme et al. (2014) alegam que devido à falta de políticas adequadas nas últimas décadas cerca de 60% das cidades brasileiras ainda despejam seus resíduos de maneira inadequada e em aterros não regulamentados, contabilizando um declínio ambiental e social.

Estima-se que por ano sejam produzidas mais de 2 bilhões de toneladas de resíduos no mundo e alerta que 99% do que se é comprado em cerca de seis meses serão jogados no lixo (ONU, 2018a). Considerando a existência de 7,6 bilhões de habitantes no mundo, nesse ritmo, para absorver esse lixo gerado seria necessário 70% de outro planeta. De acordo com estudos sobre o impacto de aterros na natureza (ONU, 2018b) 45 mil toneladas ao dia de lixo são descartadas de modo errôneo, essa quantidade de resíduos é gerada por aproximadamente 170 milhões de pessoas.

Essa quantidade de lixo produzida precisa de um destino, seja ele de forma adequada ou não. Gimenes e Hising (2017) informam que o Brasil apresenta três formas de descarte sendo

que o aterro sanitário funciona como um depósito de descarte de resíduos que em tese é composto principalmente de materiais não recicláveis. Devendo atender alguns requisitos como estar fora de áreas de influxos de manancial de abastecimento público, se manter distante 200 metros de rios, nascentes e demais corpos hídricos, a 1.500 metros de núcleos populacionais e 300 metros de residências isoladas. Estruturalmente o aterro precisa de um sistema de impermeabilização, oferta diária dos resíduos, monitoramento de águas subterrâneas chorume, sistema de drenagem de gases, monitoramento topográfico e hidrogeológico (ABNT, 1983).

A operação de um aterro sanitário, como um local de disposição de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) no solo deverá atender princípios de engenharia para a compressão desses resíduos visando reduzi-los ao menor volume possível e posteriormente cobrindo-os com uma camada de terra. E para o seu bom funcionamento é necessário a utilização de técnicas sanitárias por meio da impermeabilização do solo, compactação, coleta e tratamento do biogás e do chorume, além de outros processos operacionais que consigam reduzir as consequências ambientais que possam ser acarretados pelo acúmulo de resíduos (LUCAS et al., 2010).

Os aterros sanitários são grandes geradores de biogás, entretanto são altamente tóxicos para atmosfera devido ao seu percentual elevado de metano (CH₄), que tem o potencial 21 vezes mais elevado que o dióxido de carbono (CO₂) em potencialidade para o aquecimento global (PIÑAS et al. 2016).

A denominação Aterro controlado compreende áreas de descarte de resíduos com baixo ou mínimo controle sobre a gestão ambiental, como isolamento, acesso restrito ou o controle de entrada e saída desses resíduos. Não atendem as normas ambientais brasileiras nem às recomendações da Política Nacional de Resíduos Sólidos (GIMENES; HISING, 2017).

Os lixões são áreas a céu aberto para despejo de resíduos, não apresentando nenhum controle ambiental ou sobre o tratamento do lixo. Além de ser uma zona de acesso irrestrito, muitos trabalhadores que vivem do lixo acabam por fazer suas moradias no local (GIMENES; HISING, 2017).

Observa-se ainda que apenas 59,1% do total anual de RSU são dispostos de forma adequada em aterros sanitários. Entretanto os lixões e aterros controlados, funcionam de maneira ativa no Brasil recebendo mais de 80 mil toneladas/dia, com uma média anual de aproximadamente 40% de disposição anual de RSU (ABRELPE, 2017).

4 Impacto ambiental e na qualidade de vida

Através da análise feita pela ONU Meio Ambiente, recomenda-se o fechamento de lixões, por serem lugares insalubres e representam um grande risco de saúde para a população do entorno e indivíduos que trabalham em contato direto com o lixo como os catadores (ONU, 2018b).

A matriz energética nacional precisa ser alterada devido às variações climáticas o que pode ocorrer a diminuição de águas nos rios o que acarreta a diminuição dos recursos hidráulicos do país. Em conjunto uma outra questão deve ser analisada, a gestão de resíduos precisa ser eficiente e deve ocorrer de modo a atenuar da poluição atmosférica, além de melhorar a qualidade de vida da população (ECONOMIA DO CLIMA, 2010).

As áreas de lixão emitem grande quantidade de gases de efeito estufa, além de atuar negativamente para turismo e agricultura ameaçando a biodiversidade e interferindo diretamente na comunidade local. Por dia na América Latina e Caribe, 35 mil toneladas de lixo não são coletadas, o que vem a afetar diretamente zonas pobres e áreas rurais chegando a atingir mais de 40 milhões de pessoas. Demonstrando que aproximadamente 90% dos resíduos coletados são conduzidos para aterros ou lixões, não sendo destinados a nenhum tipo de reciclagem ou reaproveitamento (ONU BRASIL, 2018b).

Por meio da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) mais conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos foi estabelecida a logística reversa e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Passando a oportunizar uma variedade de ações que possibilitam a restituição dos produtos e resíduos sólidos ao setor empresarial, para sua reutilização para a continuação ou novo ciclo produtivo ou uma destinação final adequada com o mínimo dano possível.

5 Resíduos tóxicos

Destarte, destaca-se a relevância do entendimento da liberação de resíduos tóxicos provenientes da decomposição, gerando gases de resíduos, sendo os de maior abundância metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), gás sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂) sendo que a porcentagem de gases variará conforme o tempo de existência do aterro (PIÑAS et al. 2016).

Por meio da pesquisa direta computou-se que apenas 3.923 municípios possuem qualquer ação referente a coleta seletiva ressaltando que em muitos desses municípios, as atividades de coleta seletiva não abarcam a totalidade de área urbana (ABRELPE, 2017).

Leme et al. (2014) apontaram que a implantação de usinas para geração de energia elétrica, em aterro sanitário, possui potencial para diminuir significativamente os impactos ambientais negativos.

A ONU (2018b) ressaltou a falta de tratamento específico para resíduos orgânicos, contribui para a alta liberação de gases do efeito estufa na atmosfera. Chamando atenção para o panorama dos países latino-americanos e caribenhos onde cerca de 50% do seu lixo gerado são resíduos orgânicos e os materiais de qualidade para uma possível reciclagem também não possuem em sua maioria uma destinação correta.

Outro produto oriundo de aterros sanitários ou lixões é o chorume ou lixiviado. Kjeldsen et al. (2002) descreveram o chorume como a fração líquida originada pela umidade natural presente nos resíduos, através do processo de decomposição de material orgânico e águas das chuvas.

Moravia (2007) e a norma brasileira NBR 8849/1985 (ABNT, 1985) definem o lixiviado com uma sopa escura com um alto grau de destruição ambiental devido ao seu poder de contaminação, e sua composição se dá pelos resíduos sólidos ao passarem por os processos de decomposição física, química e biológica ocasionando efluentes líquidos e gasosos.

Telles (2010) argumenta que as características físico-químicas do lixiviado são influenciadas por fatores como: variações climáticas, técnica de aterramento e método de compactação que acaba por atuar na quantidade e na qualidade do lixiviado produzido no aterro.

6 Aterros sanitários para geração de energia

Jankes et al. (2012) apontam a biomassa como uma importante fonte energética renovável para o futuro, principalmente nos quesitos de preocupação global como proteção ambiental e mudanças climáticas. O que faz a biomassa ser muito bem quista como fonte energética devido ao círculo fechado de dióxido de carbono.

O Ministério de Minas e Energia (MME, 2007) classifica biomassa como qualquer recurso energético nas categorias energética florestal com seus produtos e subprodutos ou resíduos, energética agrícola, agroenergéticas e os resíduos e subprodutos dessas atividades, agroindustriais e da produção animal além de rejeitos urbanos. Salientando que a disponibilidade e características de produção de cada uma dessas categorias são distintas.

Segundo Bley Jr. (2015) a energia proveniente de biogás é uma alternativa viável e de ampla disponibilidade e necessita de maior exploração no Brasil, o que permitiria um acréscimo

no fornecimento de energia elétrica o que contribuiria para as garantias de equilíbrio da matriz energética nacional.

Através da Lei nº 10.438 (BRASIL, 2002) o Brasil criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia - Proinfa, com o propósito de se ampliar a participação da energia elétrica gerada por Produtores Independentes Autônomos a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCH's) e biomassa no sistema interligado nacional. Por meio do Proinfa oportuniza o uso de novas fontes de energia renováveis como o biogás variabilidade na matriz energética brasileira.

Piñas et al. (2016) argumentaram que os aterros sanitários de resíduos sólidos funcionam como um reator biológico, que a grosso modo se alimentaria de resíduos produzindo gases e chorume. Em síntese a decomposição de matéria orgânica ocorre por meio de duas vias, a primeira decomposição aeróbia é decorrente da decomposição de resíduos, e seguidamente da decomposição anaeróbica onde ocorre a redução do CO₂ presente nos resíduos.

Durante o ano de 2017 a quantidade RSU cresceu em todo o país em relação ao ano anterior, contudo o sistema de coleta permaneceu um pouco superior a 90%. A região Sudeste equivale 53% do total de resíduos coletados no Brasil, além de possuir a maior cobertura de coleta de resíduos (ABRELPE, 2017).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por meio da Resolução Normativa nº 8 de 2015, classifica o biogás como gás bruto proveniente da decomposição biológica oriundos de produtos ou resíduos orgânicos. Essa normativa também estabelece que biometano que é originário do biogás como um biocombustível gasoso formado essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás, pode ser destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais (ANP, 2015).

De acordo com Oliveira (2009) o processo de produção de energia elétrica a partir do biogás se dá por meio da utilização de dispositivos tecnológicos que convertem a energia química presente no combustível (metano) em energia cinética de rotação, através dos motores que se conectam a um gerador, que transformando energia cinética de rotação em energia elétrica.

Abreu et al. (2010) avalia que para a produção de biogás para seja factível à comercialização o aterro sanitário deverá receber, no mínimo, 200t (toneladas) ao dia de resíduos, possuir capacidade mínima de recepção de 500.000t (toneladas) e altura mínima de 10m (metros). A produção de biogás por meio de aterro sanitário pode se iniciar algumas

semanas após o início do depósito dos resíduos e assim podendo continuar por 15 anos após seu encerramento.

A degradação dos acúmulos dos RSU se deve a uma variedade de Archaeobacterias metanogênicas, fungos e protozoários que oxidam a matéria orgânica para suas necessidades energéticas. Castilhos Junior et al. (2003) também destacaram que por meio do processo oxidativo, com o consumo de substratos acaba por gerar produtos que passam a ser proveitosos para a população. Já na degradação anaeróbica os microrganismos se desenvolvem na ausência de oxigênio passando pelas etapas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese e tem como um de seus produtos o biogás.

O quadro 1 demonstra os estágios de degradação da matéria orgânica para a produção de biogás.

Quadro 1 - Fases típicas de produção do biogás em um aterro sanitário

Fase	Condição	Período Típico
I	Aeróbia	Horas a 1 semana
II	Anóxica	3 meses a 3 anos
III	Anaeróbia, metanogênica, instável	8 a 40 anos
IV	Anaeróbia, metanogênica, estável	1 a 40 anos
V	Anaeróbia, metanogênica, declinante	10 a 80 anos

Fonte: Adaptado de ESMAP (2004, p. 17). Fases típicas de produção do biogás em um aterro sanitário.

Borba (2006) salientou que a durabilidade de cada uma das fases de geração do biogás varia de acordo com a distribuição dos componentes orgânicos no aterro sanitário. Essa variação se dá pela disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica, destacando a umidade, passagem pelo aterro, além do seu grau de compactação e densidade. Ressaltando ainda que em uma média é se calculando em condições ditas normais, a velocidade de decomposição que deve ser mensurada por intermédio meio da taxa de produção de biogás pode chegar em seu ápice nos dois primeiros anos e tendo uma queda lenta ao longo de vinte e cinco anos ou mais. Entretanto, as fases do aterro sanitário são oscilantes não podendo ser claramente definidas uma vez que novos RSU são dispostos diariamente fazendo com que o mesmo tenha vários estágios de degradação simultaneamente (BORBA, 2006).

Castilhos Júnior et al. (2009) descreveram o processo de degradação dos resíduos sólidos como um fenômeno de interdependência de mecanismos biológicos e físico-químicos. Essa correlação se inicia após a cobertura dos RSU depositados em aterros sanitários, nessa fase ainda se encontra oxigênio presente, dando-se início a decomposição por microrganismos aeróbios. Contudo essa primeira fase apresenta curta duração, uma vez que oxigênio existente é limitado, após o seu consumo não há reposição. Posteriormente com o declínio de oxigênio passa a predominar os chamados microrganismos anaeróbios facultativos que atuam na transformação da matéria orgânica degradada pelo processo aeróbio em compostos que são dissolvidos através dos processos de hidrólise e liquefação. O processo continua na fase anaeróbica onde por meio da hidrólise da matéria orgânica que através de ação bioquímica das bactérias presentes é transformada em compostos orgânicos simples e de alta solubilidade como ácidos graxos voláteis. Após a formação desses ácidos, os mesmos se misturam com o líquido originado da matéria orgânica, reduzindo o pH e assim formando compostos orgânicos simples. E na última fase anaeróbia as bactérias metanogênicas consomem os compostos orgânicos simples, gerando metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂).

Lucas, Maran e Frare (2010) descreveram o biogás como uma mistura de gases, tendo como base de sua composição metano e dióxido de carbono além de outros componentes variáveis como monóxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico e amônia que aparecem em pequenas quantidades. Onde o metano representa 50% e os gases variáveis podem corresponder a 1% do biogás.

Pereira et al, (2018) expõem a necessidade de se desenvolver de tecnologia nacional, além do incentivo público para que se viabilize ainda os empreendimentos de aproveitamento energético em aterros sanitários.

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e o Global Environment Facility (GEF), em português Fundo Global para o Meio Ambiente aprovou um investimento de 1 milhão de dólares na cadeia de produção de biogás da agroindústria brasileira para o ano de 2019. Esse projeto tem o intuito de reduzir as emissões de gases do efeito estufa diminuir a dependência de combustíveis fósseis no Brasil com a perspectiva de reduzir o equivalente a 535 mil toneladas de gás carbônico. Ainda com o intuito de ao longo de 10 anos, por meio das usinas-piloto de biogás, produzir em média 110 mil megawatts (ONU, 2019).

O biogás resultante da degradação dos resíduos apresenta um grande aproveitamento energético, podendo ser utilizado em forma de energia elétrica, vapor, combustível para

caldeiras ou fogões, combustível veicular e também abastecer gasodutos com gás de qualidade (MMA, 2019).

Segundo Rossetto (2014) a intensidade calorífica oscila de acordo com a quantidade de metano presente na sua composição, conseqüentemente quanto maior a concentração volumétrica de metano, maior também será o poder calorífico do biogás.

Salomon (2007) discorre que o biogás se assemelha ao gás natural ao se equiparar o poder calorífico, possibilitando sua substituição em diversas aplicações. A principal vantagem do biogás em relação ao gás natural é ser renovável e sua produção depender de biomassa.

7 Um olhar sobre o futuro

Os reatores podem ser uma maneira viável de substituição dos aterros sanitários no Brasil, já sendo utilizado em grande escala nos países europeus. Sua utilização se dá por meio da digestão anaeróbia (sem oxigênio) de resíduos possibilitando codigestão vindo a intensificar a produção de biogás (STOCKMANN et al., 2016). Ao se equiparar os processos de degradação por Digestão Anaeróbia x Aterro Sanitário, pode se destacar os prós e contras de cada sistema.

Stockmanns et al. (2016) destacam que os aterros sanitários são economicamente mais viáveis para a disposição de FORSU, entretanto em contrapartida necessitam grande volume de áreas e a imprecisão de tempo para a estabilização da matéria orgânica causando um desaproveitamento da totalidade de biogás gerado.

Carneiro (2009) evidencia que a digestão anaeróbia em reatores apresenta inúmeras vantagens em relação aos modelos de produção de biogás por aterros sanitários como, baixo grau de poluição, potencialização elevada para a conversão de matéria orgânica, redução de odores e contribui para a diminuição da disposição desses resíduos (biodegradáveis) em aterros sanitários.

Russo (2005) dissertou que a velocidade da degradação da Fração Orgânica dos Resíduos sólidos Urbanos (FORSU) em aterros sanitários se encontra relacionada a quantidade de água disponível. Salientando que o recolhimento do biogás deve ser feito na maior totalidade possível para seu melhor aproveitamento energético e menor impacto ambiental. Expondo que obteve aproximadamente 25% sobre rendimento máximo de biogás possível em aterros sanitários, onde essa obtenção de rendimento depende da geração e da quantidade de matéria orgânica contida no aterro.

Reis (2005) apontou que a utilização do reator para a digestão anaeróbia apresentou um rendimento de 66% de biogás, demonstrando uma superioridade em energética em relação aos aterros sanitários.

Martín-González et al. (2010) consideram a codigestão anaeróbia uma forma alternativa que possibilita a valorização de outros substratos além de maximizar a produção de energia. Com base em uma codigestão feita entre FORSU (Fração Orgânica dos Resíduos sólidos Urbanos) e um cosubstrato rico em lipídios que podem ser gorduras óleos e graxas retirados de uma usina de tratamento de esgotos foi alcançada uma produção de biogás superior a 72% em relação a digestão anaeróbia simples de FORSU, tendo um rendimento na produção de metano de 46% a mais.

Stockmanns et al. (2016) analisando o ciclo de vida e as possibilidades de disposição e tratamento de resíduos apontaram que a codigestão anaeróbia possui o melhor aproveitamento de energia renovável em comparação a digestão anaeróbia convencional. Entretanto, a digestão convencional, até o presente momento representa a melhor alternativa em paralelo com a disposição da FORSU em aterros sanitários, devido os mesmos carecem de grandes áreas para estocagem dos resíduos e um longo de tempo estabilização e operação.

8 Considerações finais

O Brasil possui uma grande capacidade de produção de energia proveniente de fontes renováveis e apresenta todos os pontos favoráveis para investimentos nessa matriz energética. O Programa RenovaBio incentiva a Política Nacional de Biocombustíveis, foi instituída por meio da Lei nº 13.576/2017. Objetivando traçar a expansão de matrizes energética derivada de biocombustíveis, reduzir a dependência de combustíveis que propiciam gases causadores do efeito estufa. E dentre essas fontes renováveis pode-se destacar a biomassa oriunda dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), já que em tese são resíduos sem utilidade e prontos para descarte.

Anualmente são produzidas mais de dois bilhões de toneladas de resíduos no mundo, e esse número só vem crescendo, por atender demandas de uma sociedade consumista. O Brasil computou no ano de 2017 a produção do equivalente a 78,4 milhões de toneladas de RSU, sendo que somente 71,6 milhões de toneladas foram coletados. Em um país que o serviço de coleta abrange 91,2% do seu território, apresenta um de 6,8 milhões de toneladas de resíduos não coletados assim também acabam por ter um destino incorreto.

Devido a essa exorbitante quantidade de lixo produzido, torna-se viável e factível a utilização de biomassa oriunda de RSU produzidas em aterros sanitários. Apesar do quantitativo de aterros sanitários no Brasil, esse número ainda é insuficiente para as demandas do país, devido a sua concorrência com os lixões e aterros controlados que são considerados impróprios, contudo ainda abundantes.

A exploração do biogás traz inúmeros benefícios que vão desde maximizar o aproveitamento e a recuperação dos materiais descartados até a erradicação das práticas de destinação impróprias, que se encontram presentes em todos os estados e os impactos negativos à saúde de milhões de brasileiros.

Contudo o Brasil ainda se prende a exploração do biogás por meio de aterros, enquanto outros países já apostam em digestão anaeróbia em reatores pois apresentam inúmeras vantagens em relação aos aterros.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419**: apresentação de projetos de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8849**: apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 10004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, nov. 2001. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-14.040-Gest%C3%A3o-Ambiental-avaliac%C3%A3o-do-ciclo-de-vida-principios-e-estrutura.pdf>. Acesso: 08 maio 2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>. Acesso: 18 abr. 2019.

ABREU, F. V.; ROSA L. P.; AVELINO M. R.; SOUZA M. C. L.; NASCIMENTO V. C.; SOUZA E. S. **Estudo técnico, econômico e ambiental da produção de energia através do biogás de lixo**. 2010. VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA, 18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/publico/anexos/1280380404/CON10-0420-Biogas.pdf>. Acesso: 03 abr. 2019.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **RANP 8 – 2015. RESOLUÇÃO ANP Nº 8, DE 30.1.2015 - DOU 2.2.2015**. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/janeiro&item=rانp-8--2015>. Acesso: 08 maio 2019.

_____. **RENOVABIO**. Publicado: Segunda, 30 de Julho de 2018, 15h17. Atualizado: Sexta, 03 de Maio de 2019, 13h46. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/renovabio>. Acesso: 08 maio 2019.

ANEEL. Agência Nacional de Energia. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005. 243p. ISBN: 85-87491-09-1.

BIDONE, F. A. (Org.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Brasília: FINEP/PROSAB, 2001. 216 p.

BLEY JR., C. **Biogás: a energia invisível**. 2ª ed., São Paulo: CIBiogás, 2015. 230 p. Disponível em: <https://cibiogas.org/>. Acesso em: 27 mar 2019.

BORBA, S. M. P. **Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2006. 134 p. Disponível em: http://www.getres.ufrj.br/pdf/BORBA_SMP_06_t_M_int.pdf. Acesso: 07 maio 2019.

BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10438.htm. Acesso: 27 mar. 2019.

_____. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso: 31 mar. 2019.

CARNEIRO, D. R. C. **Viabilidade técnica e económica de uma unidade centralizada de co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos**. 2009. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Portugal. 2009. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/66701>. Acesso: 11 maio 2019.

CASTILHOS JUNIOR, A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D. da. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 19-50. ISBN 85-86552-70-4. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabArmando.pdf>. Acesso: 09 abr. 2019.

ECONOMIA DO CLIMA. **Economia da mudança do clima no Brasil: Custos e oportunidades**. Disponível em: http://www.economiadoclima.org.br/files/biblioteca/Economia_do_clima.pdf. Acesso: 16 ago. 2020.

ESMAP – Energy Sector Management Assistance Programme. **The World Bank Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean.** Ontário: World Bank, 2004. 216 p. Disponível em: <http://documents1.worldbank.org/curated/pt/954761468011430611/pdf/332640handbook.pdf>. Acesso: 22 abr. 2019.

FERREIRA, W. R. **Análise do potencial energético territorial do biogás proveniente de aterros sanitários para inserção na matriz elétrica do estado de Minas Gerais no horizonte de 2050.** Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

GIMENES, E; HISING, E. **Aterros sanitários, aterros controlados e lixões: entenda o destino do lixo no Paraná.** COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO BIOGÁS - CETESB. 01/08/2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/2017/08/01/aterros-sanitarios-aterros-controlados-e-lixoes-entenda-o-destino-do-lixo-no-parana/>. Acesso: 03 abr 2019.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Brasil investe pouco em energias alternativas Pesquisador do Ipea lança estudo inédito com panorama sobre os investimentos em energias renováveis na última década.** 2015. Ano 12 . Edição 83 - 19/06/2015. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=3154&catid=28&Itemid=39. Acesso: 30 mar. 2019.

JANKES, G. G.; TRNINIC, M. R.; STAMENIC, M. S.; SIMONOVIC, T. S.; TANASIC, N. D.; LABUS, J. M. Biomass gasification with CHP production: A review of the State-of-the-Art technology and near future perspectives. **Thermal Science**.v. 16, p. S115-S130, 2012. Supl. 1. Disponível em: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2012/0354-98361200066J.pdf>>. Acesso: 27 mar. 2019.

KJELDSSEN P. I.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 32, n. 4, p. 297-336, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>. Acesso: 16 ago. 2020.

LEME, M. M. V.; ROCHA, M. H.; LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J.; LOPES, B. M.; FERREIRA, C. H. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 87, p. 8 – 20, 2014.

LUCAS, J. F. R.; MARAN, M. A.; FRARE, L. M. **Proposta de aproveitamento do biogás gerado no aterro sanitário de Foz do Iguazu – PR.** In: XIII Congresso de Engenharia Química. 2010. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/publicbiogas/biogascobeq2010.pdf>. Acesso: 03 abr. 2019.

MARTÍN-GONZÁLEZ, L.; COLTURATO, L. F.; FONT, X.; VICENT, T. Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: Recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield.

Waste Management. v. 30, e. 10, p. 1854 – 1859, out. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.03.029>. Acesso: 11 maio 2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. 2019. Disponível em: www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sa. Acesso: 31 mar. 2019.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (Proinfa)**. Disponível em: <http://www.cbcm-metalforming.com/publicacoes/2013/Artigo%20SENAFOR%20fran%20W%202013.pdf>. Acesso: 20 jan. 2020.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . _ Brasília : MME : EPE, 2007. V. 12.

MORAVIA, W. G. **Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

OLIVEIRA, M. M.; MEDEIROS, M. H. A. S.; SILVA, R. L.; LUCAS, G. A. P. Desenvolvimento sustentável nas organizações como oportunidade de novos negócios. **Revista Valore**, Volta Redonda, v.1, n.1, p. 42-66, dez. 2016.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

ONU BRASIL. **Agência da ONU e fundo ambiental liberam US\$1 mi para setor de biogás no Brasil em 2019**. Publicado em 19/02/2019 - Atualizado em 20/02/2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/agencia-da-onu-e-fundo-ambiental-liberam-us1-mi-para-setor-de-biogas-no-brasil/> Acesso: 31 mar. 2019.

_____. **Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial**. Publicado em 01/10/2018 - Atualizado em 01/10/2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial/>. Acesso: 31 mar. 2019. (ONU Brasil, 2018a).

_____. **Um terço do lixo da América Latina e Caribe acaba em aterros ou na natureza, diz ONU**. Publicado em 09/10/2018 - Atualizado em 09/10/2018. Disponível: <https://nacoesunidas.org/um-terco-do-lixo-da-america-latina-e-caribe-acaba-em-aterros-ou-na-natureza-diz-onu/>. Acesso: 31 mar. 2019. (ONU Brasil, 2018b).

_____. **Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>. Acesso: 31 mar. 2019.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador, n. 149, p. 4-11, out. 2006.

PÁDUA, J. A.; LAGO, A. **O que é ecologia**. Editora Brasiliense: Coleção Primeiros Passos. São Paulo, 2004.

PEREIRA, I. O.; SANTOS, I. F. S.; SANTOS, R. E. Estudo energético e econômico do aproveitamento do biogás de um aterro sanitário em uma turbina a gás de 5,4 MW. **ENGEVISTA**, v. 20, n.4, p.523-536, out. 2018.

PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIVEIRA, M. A.; ROALCABA, O. D. C. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 175-188, jan./abr. 2016.

REIS, A. S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Núcleo de Tecnologia do Campus do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2012

ROSSETTO, C. **Desempenho de motor-gerador de Ciclo Otto operado com gasolina e biogás proveniente de suinocultura e de uma estação de tratamento de esgotos**. Projeto (Qualificação) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel: UEOPR , 2014.

RUSSO, M. A. T. **Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário**. 2005. 320f. Tese (Doutoramento em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia . Universidade do Minho. Portugal. 2005. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7126/1/TESE%2520PhD%2520Vers%25C3%25A3o%2520Final.pdf>. Acesso: 09 maio 2019.

SALOMON, K. R. **Avaliação Técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2007. Disponível em: <https://saturno.unifei.edu.br/bim/0032785.pdf>. Acesso: 08 maio 2019.

SNIR e Associações. **Acordo setorial para implantação do sistema de logística reversa de embalagens em geral**. Elaboração: LCA Consultores. 2012. Disponível em: <https://www.governodigital.gov.br/transformacao/cidadania/arquivoconsultaspublicas/arquivo-de-consultas-publicas/Acordo-embalagens-arquivo-completo.pdf>. Acesso: 19 abr. 2019.

STOCKMANN, A. J.; CAETANO, M. O.; GOMES, L. P. Análise de ciclo de vida da destinação da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos: co-digestão anaeróbia, digestão anaeróbia e aterros sanitários. In.: **7º FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. 15 a 17 junho de 2016 Porto Alegre, RS. **Anais [...]** Forum Internacional de Resíduos Sólidos. 2016. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/51>. Acesso: 17 abr. 2019.

TELLES, C. A. S. **Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:

<http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2010-1/139-processo-combinados-para-o-tratamento-de-lixiviado-de-aterro-sanitario/file>. Acesso: 03 abr. 2019