

ESTIMATIVA DE POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOGÁS PROVENIENTE DO ATERRO SANITÁRIO TIJUQUINHAS (MUNICÍPIO DE BIGUAÇU/SC)

Estimated energy potential of biogas from the landfill Tijuquinhas (city of Biguaçu/SC)

Alice César Fassoni-Andrade¹, Rafael Basílio Medeiros², Henrique de Melo Lisboa²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul

² Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo

A maior parte dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil é disposta de maneira inadequada, provocando impactos ambientais, sociais e de saúde pública. O metano, produto da degradação anaeróbia dos RSU, é considerado impactante por ser um gás de efeito estufa. Este gás, queimado ou aproveitado corretamente em aterros sanitários, para geração de energia, pode trazer retorno financeiro para a empresa administradora, além de minimizar impactos ambientais. O objetivo deste trabalho foi analisar o potencial energético do aterro sanitário Tijuquinhas (Biguaçu/SC) utilizando as metodologias propostas pelo IPCC para estimativa teórica de produção de biogás. Constatou-se que o aterro Tijuquinhas possui alta capacidade de geração de energia através do aproveitamento de metano, com potencial máximo de 5,26 MW em 2019, um ano após o encerramento do aterro.

Palavras-chave: Aproveitamento energético, IPCC, resíduos sólidos, metano, geração de energia.

Abstract

Most solids waste in Brazil is disposed improperly, causing environmental, social and public health impacts. Methane, a product of anaerobic degradation of MSW, is considered to be an impactful greenhouse gas. This gas, burned or recycled properly in landfills for power generation, can bring financial returns for the company administrator, while minimizing environmental impacts. The objective of this study was to analyze the energy potential of landfill Tijuquinhas (Biguaçu/SC) using the methodologies proposed by the IPCC for theoretical estimation of biogas production. It was found that the landfill Tijuquinhas has high capacity power generation by exploiting methane, with a maximum potential of 5.26 MW in 2019, a year after the closure of the landfill.

Keywords: Energy recovery, IPCC, solid waste, methane, power generation.

1 Introdução

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) pode ser feita de diversas formas, tais como incineração, compostagem, vazadouros em céu aberto (lixões), aterro controlado e aterro sanitário (ReCESA, 2008). Lixões são caracterizados pela descarga do resíduo sobre o solo sem medidas de proteção. Já no aterro controlado, a cobertura de uma camada de terra é realizada após cada jornada de trabalho mas não há impermeabilização de base e sistema de tratamento de coleta de lixiviado e biogás, como em aterros sanitários (IBGE, 2010; ABNT, 1992). As técnicas de disposição mais econômicas e de maior facilidade provocam maiores impactos ambientais, sociais e de saúde pública.

No Brasil, a implementação da destinação adequada dos RSU em todos os municípios até 2014, prazo estipulado pela política nacional de resíduos sólidos (Lei Federal n. 12.305/2010), não ocorreu. Entre 2010 e 2014, o percentual de resíduos enviados para aterros sanitários permaneceu praticamente inalterado (57,6% para 58,4%), as quantidades destinadas inadequadamente aumentaram e a produção de resíduo cresceu 29% nesse período (ABRELPE, 2014).

A estabilização da matéria orgânica sofre dois tipos de digestão, a aeróbia, que ocorre enquanto houver oxigênio presente, ou seja, no período de disposição do resíduo, e a anaeróbia, que ocorre de forma mais lenta até que toda a matéria esteja estabilizada (CASTILHOS JR e REICHERT, 2007). Pode-se destacar como principais produtos da decomposição anaeróbia dos RSU o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), gases constituintes do biogás. O metano é um gás altamente inflamável, contribui para o efeito estufa e é passível de ser transformado em energia térmica ou elétrica (ARMANDO, 2013).

O potencial de aquecimento global do metano é 21 vezes maior que o do dióxido de carbono (CO_2), ou seja, o metano absorve cerca de 21 vezes mais radiação infravermelha do que o CO_2 (IPCC, 2006). Dessa forma, a conversão do metano em CO_2 já reduz o potencial de aquecimento global, sendo possível a elaboração de um projeto de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), previsto pelo Protocolo de Kyoto (LA ROVERE *et al.*, 2005). Além dos créditos de carbono a partir do projeto de MDL, o gás metano pode ser aproveitado na geração de energia, originando outra fonte de recursos para a empresa administradora.

Estimativas teóricas de produção de biogás são realizadas por meio de modelos matemáticos que dependem de reações bioquímicas que modelam a conversão dos resíduos em gases, líquidos e compostos bioestabilizados. Estas reações estão relacionadas com o tipo de resíduo (ex.: composição, idade, tamanho) e com a forma de deposição (ex.: compactação, eficiência de captação do metano), fatores que influenciam na temperatura, na umidade e no pH do meio (DIAS, 2009).

Assim, métodos de estimativa de produção de biogás foram criados de acordo com a destinação do resíduo. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (US EPA), por exemplo, possui duas metodologias, uma destinada a lixões (USEPA, 1997) e outra para aterros com sistema de controle (USEPA 1998). O IPCC (2006) possui dois métodos para estimar emissões de metano em aterros: um método simplificado e outro que considera a velocidade de degradação da matéria orgânica (equação cinética de primeira ordem) e a quantidade de carbono que é transformada em metano, sendo mais completa e realista.

O objetivo deste trabalho é analisar o potencial energético do biogás do aterro sanitário Tijuquinhas (município de Biguaçu/SC) e verificar a viabilidade para valorização do biogás na geração de energia.

2 Metodologia

O aterro sanitário Tijuquinhas está localizado no município de Biguaçu, Santa Catarina, a 28 km de Florianópolis, com o ponto central nas coordenadas 27° 21' 47" S e 48° 38' 52" O. O início da sua operacionalização foi em 1991 com previsão de encerramento em 2018, recebendo mensalmente uma média de 20.000 toneladas de resíduos provenientes de 22 municípios (COMCAP, 2011). O aterro

possui impermeabilização de fundo e lateral, sistema de drenagem de lixiviados, de gases e de água pluvial, tratamento do lixiviado e gases, compactação e cobertura diária dos resíduos. O sistema de drenagem de gases é constituído de drenos verticais de tubos perfurados de concreto revestidos de brita e o tratamento é realizado por meio da queima.

O método utilizado neste estudo é proposto por IPCC (2006). Este considera a estimativa do percentual de carbono orgânico degradável e sua fração distinta presente na massa de resíduo. Determina-se, deste modo, a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado. A fração de carbono orgânico degradável (COD) no lixo depositado no aterro é calculada pela Equação 1.

$$COD = \sum(COD_i . W_i) \quad (1)$$

Onde:

COD = fração de carbono orgânico degradável no lixo (adimensional ou tonC.tonRSU⁻¹);

COD_i = fração de carbono orgânico degradável no tipo de resíduo *i*;

W_i = fração do tipo de resíduo *i*;

Os valores de COD_i foram retirados de IPCC (2006). Para os valores de W_i é necessário caracterizar e quantificar a porcentagem de cada tipo de resíduo disposto no aterro. No Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Florianópolis (COMCAP, 2011) é apresentado a caracterização dos resíduos que são originados na grande Florianópolis e dispostos no aterro Tijuquinhas. Porém, estes resíduos não representam a totalidade disposta no aterro. Fazendo um comparativo com os valores propostos por IPCC (2006), nota-se que os valores de caracterização de resíduos são similares àqueles de Florianópolis. A generalização é coerente e os valores ali apresentados se mostram representativos para a situação do aterro em estudo. Desta forma, foram adotados os valores sugeridos para o Brasil por IPCC (2006).

A partir da fração de carbono orgânico degradável no lixo é possível determinar, pela Equação 2 (IPCC, 2006), o potencial de geração de metano no resíduo (*L_o*) e posteriormente, pela Equação 3 (IPCC, 2006), a emissão de metano por ano.

$$L_o = FCM . COD . COD_f . F . \left(\frac{16}{12}\right) \quad (2)$$

Onde:

L_o = potencial de geração de metano do resíduo (tonCH₄.tonRSU⁻¹);

FCM = fator de correção do metano = 1 (considera-se um aterro com deposição controlada do lixo, camada de cobertura, compactação mecânica e nivelamento do terreno);

COD = fração de carbono orgânico degradável no lixo (tonC.tonRSU⁻¹);

COD_f = fração de COD que pode se decompor = 0,50 (recomendação do IPCC, 2006);

F = fração de metano presente no biogás = 57% (DIAS, 2009);

16/12 = taxa de conversão de carbono em metano (tonCH₄.tonC⁻¹);

A unidade do *L_o* calculado está em tonCH₄.tonRSU⁻¹. Para transformar para m³biogás.tonRSU⁻¹ dividiu-se o valor de *L_o* por 0,0007168 ton.m⁻³, valor da densidade do metano (PECORA et al., 2008).

$$Q_{CH_4} = k . R_x . L_o . e^{-k(A-T)} \quad (3)$$

Onde:

Q_{CH₄} = emissão de metano (m³CH₄.ano⁻¹);

k = constante de decaimento (ano⁻¹) (IPCC, 2006);

R_x = quantidade de resíduos depositados no ano (tonRSU);

L_o = potencial de geração de metano (m³ biogás.tonRSU⁻¹);

A = ano atual;

T = ano de deposição do resíduo no aterro (início de operação);

Os dados referentes à quantidade de resíduos depositados no aterro durante o período de 1991 a 2008 (Anexo I) foram fornecidos pela empresa Proactiva Brasil, responsável pelo aterro Tijuquinhas. Em decorrência do encerramento previsto para o ano de 2018, foram estimados os valores de massa de resíduos depositados a partir do ano de 2009 considerando um aumento de 2% ao ano.

Como comentado na introdução, o biogás pode ser utilizado como combustível em motores para geração de energia. O potencial energético do aterro Tijuquinhas foi estimado com base nos valores anuais de produção de metano. Para isso, foi considerado que o biogás passa por um processo em que apenas o gás metano é aproveitado, fornecendo um combustível com Poder Calorífico Inferior (PCI) de 8500 Kcal.m⁻³ (USEPA, 1996). Também foi considerado um motor de combustão interna (ciclo Otto) com eficiência total de conversão de 28% e uma capacidade de geração de elétrica de 87%. Os motores de ciclo Otto podem ser facilmente modificados para se utilizar o biogás como combustível (MACHADO e WANDER, 2015) e apresentam melhor rendimento energético e econômico quando comparado com outros sistemas de combustão, como a microturbina a gás e Flare (SANTOS *et al.*, 2015).

Para a determinação da potência e da energia são sugeridas as Equações 4 e 5 por ICLEI (2009):

$$P = Q_{CH_4} \cdot PCI \cdot \eta \cdot 860000^{-1} \quad (4)$$

Onde:

P = potência disponível (MW);

PCI = Poder Calorífico Inferior do metano, em torno de 8500 Kcal.m⁻³;

η = eficiência de motores (28%) = 0,28;

860.000 = conversão de kcal para MW;

$$E = P \cdot R \cdot T \quad (5)$$

Onde:

E = energia disponível (MWh.dia⁻¹);

R = rendimento de motores operando a plena carga (87%) = 0,87;

T = Tempo de operação do motor = 24 horas.dia⁻¹;

Desta forma, podem ser determinados os valores para potência e energia disponíveis pela geração de metano no aterro.

3 Resultados e discussão

Determinou-se a vazão de metano (m³.ano⁻¹) no aterro, desde o ano de 1991, início da operação, até 2030, fim das atividades de monitoramento no aterro. A Figura 1 mostra o comportamento da geração de biogás e a Tabela 1 os valores de metano estimado para cada ano. A vazão máxima ocorre em 2019 com 20 milhões de m³ de metano e em 2030, a vazão de metano ainda é alta, com 6 milhões de m³.

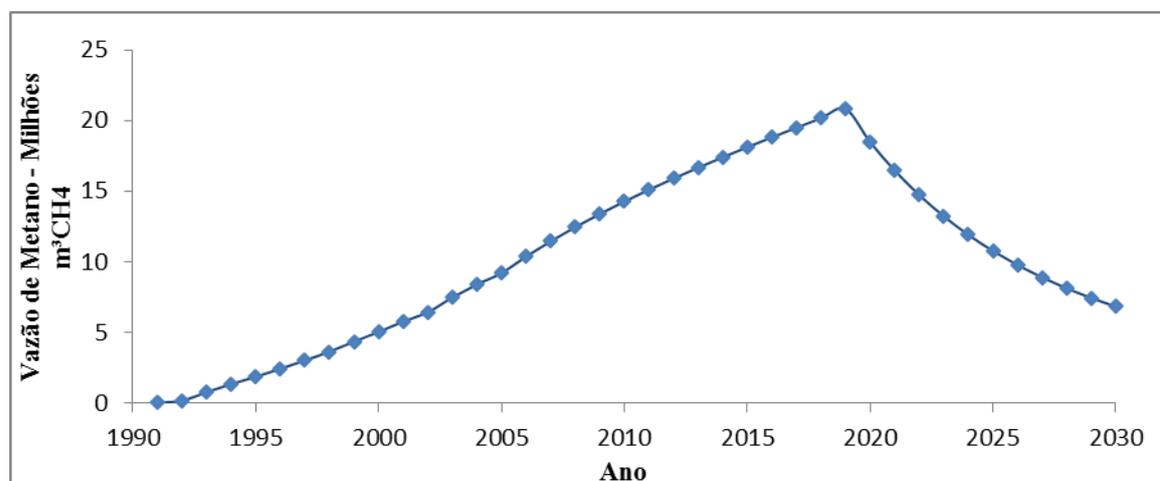


Figura 1: Vazão de metano, em milhões de m³, estimada no período de 1990 a 2030. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na determinação da potência disponível, considera-se que nem toda emissão de metano pelo aterro é passível de captação e aproveitamento. Os drenos e outras formas de captação do biogás não são capazes de captar 100% do gás gerado. De acordo com USEPA (1998), dados documentados de aterros sanitários energéticos mostram que a eficiência percentual de coleta de gás metano varia de 60 a 85 %. Neste trabalho é admitido um valor de coleta de 80%. A curva de potência elétrica (MW) fornecida pelo biogás no aterro é apresentada na Figura 2, e na Tabela 1 a potência disponível (MW) para cada ano.

Tabela 1A: Vazão de metano anual, vazão de metano captada pelo projeto e potência disponível no aterro de 1991 a 1998. Fonte: Elaborado pelos autores.

Ano	m³CH₄.ano⁻¹	m³CH₄.h⁻¹ captado pelo projeto	Potência Disponível (MW)
1991	0	0	0
1992	155691,96	14,22	0,04
1993	751813,62	68,66	0,19
1994	1323102,68	120,83	0,33
1995	1848772,32	168,84	0,47
1996	2409179,69	220,02	0,61
1997	3006417,41	274,56	0,76
1998	3625697,54	331,11	0,92
1999	4339983,26	396,35	1,1
2000	5020089,29	458,46	1,27
2001	5761579,24	526,17	1,46
2002	6415318,08	585,87	1,62
2003	7460100,45	681,29	1,89
2004	8389229,91	766,14	2,12
2005	9195452,01	839,77	2,32
2006	10366071,43	946,67	2,62
2007	11444754,46	1045,18	2,89
2008	12445870,54	1136,61	3,15
2009	13381835,94	1222,09	3,38
2010	14262974,33	1302,55	3,6
2011	15098214,29	1378,83	3,82
2012	15895089,29	1451,61	4,02
2013	16659737,72	1521,44	4,21
2014	17397600,45	1588,82	4,4
2015	18113420,76	1654,19	4,58
2016	18811244,42	1717,92	4,75
2017	19494280,13	1780,3	4,93
2018	20165736,61	1841,62	5,1
2019	20827845,98	1902,09	5,26
2020	18484933,04	1688,12	4,67
2021	16467773,44	1503,91	4,16
2022	14726283,48	1344,87	3,72
2023	13217773,44	1207,1	3,34

2024	11907087,05	1087,41	3,01
2025	10764229,91	983,03	2,72
2026	9764229,91	891,71	2,47
2027	8886439,73	811,55	2,25
2028	8112862,72	740,9	2,05
2029	7428710,94	678,42	1,88
2030	6821428,57	622,96	1,72

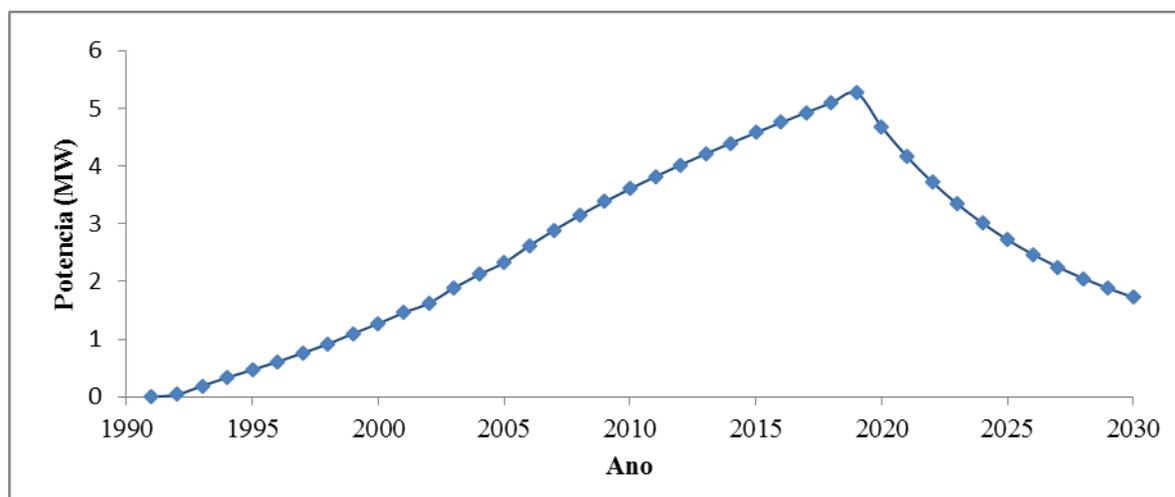


Figura 2: Potência estimada, em MW, no período de 1990 a 2030. Fonte: Elaborado pelos autores.

O pico da geração de metano será em 2019, ano seguinte ao último ano de deposição de material no aterro. Posteriormente, de forma esperada, a emissão de metano irá decair de acordo com a equação cinética, tendo em vista que não haverá entrada de resíduos após o encerramento do aterro. Nota-se que em 2030, prazo estimado para encerramento das atividades de monitoramento, ainda haverá emissão significativa de biogás, representando uma potência elétrica de 1,72 MW. O aproveitamento energético não precisa ser encerrado nesse ano.

O aterro sanitário Tijuquinhas possui capacidade de gerar 5,26 MW no ano de máximo potencial, considerando 28 anos de funcionamento. Ensinas (2003) estimou uma potência máxima de 4 MW para o aterro sanitário delta em Campinas (SP) com 14 anos de operação. No último ano de operação do aterro delta foram depositados 25.317 toneladas de resíduo mensalmente. No aterro Tijuquinhas o fluxo mensal foi de 24.867 toneladas em 2009, quando este estava com 14 anos de funcionamento. Como o fluxo é parecido, é possível comparar a potência estimada no aterro Tijuquinhas em 2009 (3,38 MW) com a potência do aterro de Campinas (4 MW).

Ensinas (2003) utilizou a mesma metodologia proposta nesse estudo, porém, os valores das constantes, como a fração de metano presente no biogás, foram determinadas em campo. A capacidade de esgotamento a partir dos aspectos físicos do aterro e a quantidade de lixo a ser depositada por mês também foram calculadas. Dessa forma, as incertezas associadas ao gerenciamento do aterro são minimizadas. A comparação dos dois estudos mostra que os resultados são parecidos e as estimativas utilizadas nesse trabalho são aceitáveis.

Para dimensionamento de um projeto de biogás, segundo a USEPA (1996), pode-se levar em conta duas situações. A primeira considera um fluxo mínimo de biogás garantindo energia o tempo todo, mas com perdas devido à emissão de biogás, em alguns momentos, acima da capacidade de projeto. A outra situação considera um fluxo máximo de biogás, com interrupções na geração de eletricidade. Outra alternativa é dimensionar unidades geradoras menores, porém com custos mais elevados, que podem ser removidas ou realocadas de acordo com a produção de biogás.

Considerando a instalação de unidades de geração de 1 MW após o fechamento do aterro, pode-se prever, para um cenário conservador, 4 unidades no período de 2018 à 2021, 3 unidades de 2022 à

2024, 2 unidades de 2025 à 2028 e uma unidade nos dois últimos anos de monitoramento do aterro (2029 e 2030), podendo ser estendido esse período. A Tabela 2 apresenta a energia disponível para cada ano, considerando a instalação dessas unidades.

Tabela 2: Energia disponível por ano de 2018 a 2030

Ano	Potência Disponível (MW)	Unidades de geração de 1 MW	Energia MW/h.mês ⁻¹
2018	5,1	4	2505,6
2019	5,26	4	2505,6
2020	4,67	4	2505,6
2021	4,16	4	2505,6
2022	3,72	3	1879,2
2023	3,34	3	1879,2
2024	3,01	3	1879,2
2025	2,72	2	1252,8
2026	2,47	2	1252,8
2027	2,25	2	1252,8
2028	2,05	2	1252,8
2029	1,88	1	624,4
2030	1,72	1	624,4

A energia disponível das unidades apresentadas anteriormente, considerando um motor com 87% de rendimento, nos quatro primeiros anos, seria de 2505,6 MWh.mes⁻¹, o suficiente para atender 12.584 residências, considerando um consumo de 199,1 kWh.mes⁻¹ - dado para o estado de Santa Catarina no ano de 2012, conforme EPE (2013). Na última fase do projeto, quando se teria apenas uma unidade de 1 MW operando, ainda seria possível atender 3.146 residências.

Considerando apenas o período de projeto das unidades de geração, de 2018 até 2030, haverá produção de 96.094,4 toneladas de metano, o que equivale a 2.017.982,4 de CO₂, que poderiam gerar créditos de carbono junto ao mercado mundial.

4 Conclusões

O aterro Tijuquinhas possui alta capacidade de geração de energia através do aproveitamento de metano, podendo chegar a 5,26 MW em 2019, período máximo de emissões. Percebe-se que, mesmo após o encerramento das atividades no aterro, o biogás continua a ser emitido em 2030 com uma potência elétrica disponível de 1,72 MW.

O projeto de valorização do metano em unidades geradoras de 1 MW, em um cenário conservador, mostrou uma solução para a questão energética em um âmbito local ou regional, podendo atender até 12.584 residências, no período de maior emissão, e 3.146 residências, no final do projeto. Além disso, o ganho ambiental e os benefícios financeiros podem ser significativos, seja por obtenção de créditos de carbono, aproveitamento da energia no próprio aterro ou venda de energia excedente para concessionárias locais.

A metodologia proposta por IPCC (2006) se apresentou eficaz com boas estimativas das constantes necessárias ao estudo. É uma metodologia simples, podendo ser realizada facilmente pela empresa administradora como um estudo preliminar de aproveitamento energético.

O encerramento do aterro, previsto para o ano de 2018, pode limitar a implementação de um sistema de aproveitamento de biogás no local devido ao alto custo de investimento inicial. Ressalta-

se a sugestão de realizar análises, como a apresentada neste estudo, no começo da operação de um aterro, possibilitando um período maior de reaproveitamento do biogás.

Referências

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992. 7p.
- ARMANDO, M. C. *Avaliação do potencial do biogás gerado e sistemas de aproveitamento energético no aterro sanitário do município de Toledo-PR*. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Cascavel, 2013.
- ABRELPE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014*. São Paulo: ABRELPE, 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acessado em: dezembro 2015. 2014.
- CASTILHOS JR, A. B.; REICHERT, G. A. *Projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários*. CASTILHOS JR, A. B. (Coordenador). Florianópolis: UFSC, 92p., 2007.
- COMCAP (COMPANHIA MELHORAMENTOS DA CAPITAL). *Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos*. Florianópolis, 2011. 256p.
- DIAS, V. C. F. *Estudo das emissões de biogás nos aterros sanitários de Içara e Tijuquinhas*. 2009. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2009.
- ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário delta em Campinas-SP*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003. 145 p.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energéticas. *Anuário estatístico de energia elétrica 2013*. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 253 p., 2013.
- ICLEI. Governos Locais pela Sustentabilidade. *Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários*. Secretariado para América Latina e Caribe. Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 80 p., 2009.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acessado em: Janeiro 2014. 2010.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGES; *Guidelines for National Greenhouse Inventories: waste generation composition and management data*. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>. Acesso em: 21 dez. 2014. 2006.
- LA ROVERE, E. L.; COSTA, C. V.; DUBEUX, C. B. S. - *Aterros sanitários no Brasil e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): oportunidades de promoção de desenvolvimento sócio-ambiental*. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, 2005.
- MACHADO, D. O.; WANDER, P. R.. *Análise de desempenho de um motor ciclo Otto com biogás*. Revista Liberato, v. 16, n. 26, 2015.
- PECORA, V.; FIGUEIREDO, N. J. V.; COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. *Biogás e o mercado de créditos de carbono*. In Anais do Rio Oil & Gas Expo and Conference. Rio de Janeiro, 2008.
- ReCESA. *Esgotamento sanitário: operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 2*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte, 2008. 112p.

SANTOS, I. F.; BARROS, R. M.; TIAGO, G. L.. *Uma avaliação energética, econômica e ambiental das opções de aproveitamento energético do biogás de um aterro sanitário no Brasil*. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, p. 1344-1356, 2015.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). *Turning a liability into an asset: A landfill gas-to-energy project development handbook*. Office of Research and Development. EPA 430-B-96-0004. 139p. Setembro, 1996.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). *Emission Factor Documentation for AP-42, Section 2.4, MSW Landfills* Research Triangle Park, NC, USA. 1997.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). *Emerging technologies for the management and utilization of landfill gas*. Office of Research and Development. EPA 68-D30035. Janeiro, 1998.

ANEXO I - Quantidade de resíduos depositados, em toneladas, no aterro Tijuquinhas durante o período de 1991 a 2008. Fonte: Proactiva Brasil.

Ano	Quantidade de resíduos depositados (t)
1991	16.179
1992	64.085
1993	69.525
1994	72.336
1995	82.731
1996	93.690
1997	103.529
1998	121.115
1999	126.466
2000	141.175
2001	141.093
2002	181.949
2003	190.430
2004	188.980
2005	236.212
2006	240.936
2007	245.755
2008	250.670
Total	2.566.856