

Gestão de Resíduos Sólidos do Consórcio Zona da Mata e Estimativa do Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás na Região¹

Marina Augusto², Rebecca De Albuquerque Grandmaison², Gabriela Gonzaga², Maiara Fortes Leite², Kleber Barcelar Santos²

¹Aceito para Publicação no 3º Trimestre de 2016.

²Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá(MG), ivanfelpedeice@hotmail.com.

Resumo

O apresenta a avaliação do crescimento populacional do Consórcio Zona da Mata (MG), seu impacto na geração de resíduos sólidos e a consequente produção de gases de efeito estufa, além da estimativa do potencial de aproveitamento energético do Biogás.

Palavras-chave: Projeção populacional, GEE, Biogás.

Abstract

This paper presents an evaluation of the population growth of the Zona da Mata's consortium (MG - Brazil), its impact on the generation of solid waste and the consequent production of greenhouse gases, as well as estimate the potential energy from the biogas.

Keyword: Population growth, Greenhouse gases, Biogas.

Introdução

O progressivo aumento da geração de resíduos sólidos tem dificultado sua gestão e tratamento. Segundo PAVAN (2010), este aumento do volume gerado de resíduos se deve ao rápido processo de urbanização e à cultura consumista da população. Isto torna cada vez mais complexo o desafio de se gerenciar esses resíduos e encontrar soluções ambientalmente seguras e eficientes para eles. Na maioria das vezes, a disposição final destes resíduos sólidos são aterros sanitários ou lixões, o que, de acordo com CAIXETAS (2005), é um problema para os municípios, devido aos elevados custos, a escassez de áreas disponíveis e adequadas à implantação de projetos de aterros sanitários, além da degradação ambiental.

No entanto, estes resíduos, se adequadamente gerenciados, podem ser aproveitados para a geração de energia (PAVAN, 2010), o que solucionaria outro problema frequente no cenário brasileiro. A constante crise energética no Brasil tem como uma de suas causas a falta de investimentos em infraestrutura para geração de energia, levando ao risco de desabastecimento (ANDRADE et al., 2011). Esta crise poderia ser amenizada, e até mesmo solucionada, com a implantação de tecnologias sustentáveis de energias renováveis que possibilitem sua geração próxima do ponto de consumo, além de não agredir o meio ambiente (ANDRADE et al., 2011). O aproveitamento de resíduos sólidos na geração de energia, entre outros fins, já é realidade em vários países da Europa e da América do Norte utilizam, como: aquecimento, geração de energia elétrica e combustível veicular (PAVAN, 2010).

Uma dessas tecnologias apresentadas como alternativa para solucionar o problema de geração de resíduos sólidos e crise energética é a incineração com aproveitamento energético. CAIXETAS (2005) afirma que muitas administrações municipais tem se utilizado de usinas de incineração com geração de energia como uma solução para os problemas de tratamento e de destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

Para tanto, segundo CAIXETAS (2005), devem ser avaliados, além dos impactos ambientais, outros processos que promovam a recuperação energética contida no lixo, como reutilização, reciclagem e compostagem. O biogás, por exemplo, produzido a partir de resíduos agropecuários, pode proporcionar a autonomia energética de produtores rurais, além de agregar valor a produtos agroindustriais que serve como

suprimento autônomo de combustível para muitas utilidades, como para alimentação de sistemas de bombeamento para irrigação, podendo viabilizar tais empreendimentos (ANDRADE et al., 2011).

Assim, de uma maneira geral, a utilização de resíduos sólidos como matéria prima para geração de energia, independentemente da tecnologia aplicada, proporciona muitos benefícios. PAVAN (2010) elencou os seguintes benefícios relacionados à recuperação de energia dos resíduos: (1) benefícios estratégicos, como já discutido anteriormente sobre a utilização de resíduos sólidos como matéria prima na geração de energia; (2) benefícios ambientais, pois contribui para a mitigação de lançamento de gases de efeito estufa – o metano é um dos principais gases responsável pelo efeito estufa; (3) benefícios socioeconômicos, devido ao incentivo de desenvolvimento de tecnologia nacional; e, (4) “emprego de mão de obra qualificada e não qualificada nas várias etapas do processo de recuperação de energia a partir dos resíduos”.

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo analisar a dinâmica do crescimento populacional e seu reflexo na geração de resíduos sólidos urbanos, e a partir disso verificar se o aterro é capaz de produzir quantidade significativa de biogás para geração de energia.

Materiais e métodos

Primeiramente foram utilizados os dados de população do IBGE referentes aos municípios do estado, Consórcio da Zona da Mata. Foi utilizada então a equação de crescimento logístico, a partir das equações a seguir, citadas por Barros, 2013:

$$K_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2} \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[\frac{P_0 (K_s - P_1)}{P_2 (K_s - P_0)} \right] \quad (2)$$

$$c = \frac{K_s - P_0}{P_0} \quad (3)$$

Aplicando 1, 2 e 3 em 4:

$$P_t = \frac{K_s}{1 + c \cdot e^{a_1(t-t_0)}} \quad (4)$$

A partir do cálculo para cada um dos municípios, pôde-se obter o valor para o consórcio (valor total), ou seja, a estimativa. Dessa forma torna-se possível calcular a quantidade gerada de resíduos acumulada anualmente.

A partir do conhecimento de quanto de resíduo recebe cada tipo de destinação, fez-se uso dos dados de quanto é reciclado e através da planilha WARM (WasteReducionModel) foi analisada a geração de gases atual, e a partir desta mesma ferramenta foi explorada a função de gerar cenários alternativos, possibilitando analisar o comportamento ao longo dos anos, por exemplo. Contemplando, inclusive, comparações entre diferentes cenários.

Foi também analisado a viabilidade de geração de energia elétrica, a partir do biogás, no consórcio em questão. Para tal, foi utilizada a LandGem(US–EPA, 2005), planilha a qual auxilia na análise da disponibilidade de biogás para o fim de geração de energia elétrica.

Resultados e discussões

Projeção populacional da região de Zona da Mata

Foi realizada uma projeção populacional para cada município inserido no consórcio analisado, CISAB da Zona da Mata. Os dados estão expressos da tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Projeção populacional da Zona da Mata

Cidade	Projeção populacional (hab)		
	2016	2026	2036
Abre Campo	13311	13311	13311
Acaiaca	3935	3956	3971
Carangola	32368	32411	32422
Conceição de Ipanema	4512	4622	4756
Fervedouro	10380	10386	10387
Ipanema	19983	24926	33959
Jequeri	23,296	23,241	23,234
Lajinha	19654	19725	19789
Lamim*	-	-	-
Lima Duarte	16235	16286	16299
Luisburgo	6192	6113	6022
Manhuaçu	83127	86068	87261
Manhumirim	21557	21632	21644
Oratórios	4502	4504	4504
Pocrane	8936	8925	8924
Ponte Nova	57414	57416	57416
Raul Soares	23754	23726	23721
Recreio	10403	10677	11158
Reduto	6639	6665	6669
Rio Doce	2631	3168	4377
Senador Firmino	7644	8399	9243
Senhora de Oliveira	5704	5734	5758
Tocantins	16000	16115	16149
Tombos*	4298	-	-
Vermelho Novo	4713	4729	4733
Viçosa	72867	73071	73092

*A projeção das cidades Lamim e Tombos apresentaram valores negativos e não representativos.

Projeção de RSU no consórcio

A partir da projeção populacional da região de Zona da Mata para os anos 2016, 2026 e 2036, juntamente com os dados do IBGE de quantidade média produzida por quantidade de habitantes e densidade populacional, foi possível realizar a projeção da quantidade de produção de resíduos sólidos urbanos (RSU), expressa na Tabela 2.

Tabela 2: Produção de RSU por município

Cidade	Quantidade de Resíduos Sólidos Produzidos (t/ano.hab)		
	2016	2026	2036
Abre Campo	1288,85	1423,69	1572,64
Acaiaca	4359,67	4790,84	5270,99
Carangola	242,26	241,94	241,86
Conceição de Ipanema	3582,04	3497,00	3397,93
Fervedouro	1556,95	1556,04	1555,99
Ipanema	5950,43	13177,02	18710,01
Jequeri	1266,19	1269,19	1269,57
Lajinha	822,29	819,36	816,70
Lamim	-	-	-
Lima Duarte	995,49	992,37	991,57
Luisburgo	2610,16	2643,81	2683,58
Manhuaçu	101,28	97,82	96,48
Manhumirim	363,76	362,50	362,30
Oratórios	3590,12	3588,39	3588,26
Pocrane	1808,55	1810,86	1811,02
Ponte Nova	146,63	146,63	146,63
Raul Soares	680,36	681,17	681,31
Recreio	1553,58	1513,72	1448,38
Reduto	2434,26	2424,76	2423,49
Rio Doce	6143,25	5100,83	3691,94
Senador Firmino	2114,17	1924,11	1748,43
Senhora de Oliveira	2833,50	2818,75	2806,58

Tocantins	490,11	486,61	485,60
Tombos	-	-	-
Vermelho Novo	3428,92	3417,86	3414,78
Viçosa	115,54	115,21	115,18

Posteriormente foi realizada a projeção da quantidade total de RSU produzidos nesses anos para o Consórcio, fazendo a somatória da produção de cada município integrante. Esta projeção está expressa na Tabela 3.

Tabela 3: Produção total de RSU

Quantidade total de Resíduos Sólidos Produzidos no Consórcio (t/ano.hab)	2016	2026	2036
	48478,35	54900,50	59331,22

Com isso é possível verificar que ocorrerá um aumento de 22,39% na produção de RSU entre os anos de 2016 e 2036.

Análise da geração de gases de efeito estufa utilizando o programa WARM

Para analisar os gases de efeito estufa que são gerados no aterro sanitário, que recebe o RSU de várias das cidades que fazem parte do consórcio, analisamos a participação de cada tipo de resíduo presente no aterro (metais; papel; papelão TetraPack; plástico; vidro; matéria orgânica; e outros). Os dados tidos como base são da ABRELPE, Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2011.

Tabela 4: Percentual de materiais constituintes do RSU

Material	Participação	Quantidade (t/ano)
Metais	2,90%	1.610.499,00
Papel, Papelão e TretraPak	13,10%	7.275.012,00
Plástico	13,50%	7.497.149,00
Vidro	2,40%	1.332.827,00
Matéria Orgânica	51,40%	28.544.702,00
Outros	16,70%	9.274.251,00

Total	100%	55.534.440,00
-------	------	---------------

Fonte: ABRELPE

Para o cálculo de geração de gases de efeito estufa, pelo programa WARM, foram assumidos dois cenários diferentes, alterando a porcentagem de cada tipo de resíduo. As características dos cenários assumidos estão expressas nas tabelas a seguir.

Tabela 5: Características do cenário 1

Material	Cenário 1 (porcentagem)			
	Reciclagem	Aterro Sanitário	Incineração	Compostagem
Metais	70%	30%	0	
Papel, Papelão e TetraPak	50%	20%	30%	
Plástico	40%	30%	30%	
Vidro	50%	50%	0	
Matéria Orgânica		70%	10%	20%
Outros		50%	50%	

Tabela 6: Características do cenário 2

Material	Cenário 2 (porcentagem)			
	Reciclagem	Aterro Sanitário	Incineração	Compostagem
Metais	90%	10%	0	
Papel, Papelão e TetraPak	70%	20%	10%	
Plástico	60%	30%	10%	
Vidro	70%	30%	0	
Matéria Orgânica		50%	10%	40%
Outros		50%	50%	

Os resultados obtidos, para o ano de 2016, analisando o primeiro e segundo cenário, estão expressos na tabela a seguir.

Tabela 7: Resultados de 2016 para geração de gases de efeito estufa

Simulação	Operação	Cenário	Emissões totais de GEE (MTCE)	Emissões totais de GEE (MTCO2E)	Alterações total no uso energético (milhões de BTU)
Simulação 1 (cen. Atual versus cen. 1)	Geração e gerenciamento de resíduos sólidos	Linha de base	4.027,07	14.765,94	15.475,61
		Cenário 1	-2.436,18	-8.932,65	-289.155,93
		Emissões incrementais de GEE	-5.386,41	-19.750,17	-244.432,97
Simulação 2 (cen. Atual versus cen. 2)	Geração e gerenciamento de resíduos sólidos	Linha de base	4.027,07	14.765,94	15.475,61
		Cenário 2	-5.256,07	-19.272,27	-357.845,33
		Emissões incrementais de GEE	-9.283,15	-34.038,21	-373.320,93

Nestes cenários foi considerada uma grande porcentagem de resíduos destinados a reciclagem e isto refletiu sobre as emissões totais de Efeito Estufas, calculado pelo software WARM, como podemos observar na tabela acima. No cenário 1 foram estimados casos que refletem mais a realidade que pode ser alcançada com conscientização da população e investimento por parte de infraestrutura dos municípios e consórcios urbanos. Ambos levaram a uma redução bastante significativa na emissão de gases como dióxido de carbono e metano. Já o cenário 2 foi mais idealista propondo destino de resíduos muito otimistas, em que para se tornar real seria necessário tempo e um crescimento constante da conscientização da população.

Para os mesmos cenários nos anos de 2026 e 2036, respectivamente, temos:

Tabela 8: Comparativo entre o cenário 1 e 2 simulados para dos anos de 2026 e 2036

Simulação	Operação	Cenário	Emissões totais de GEE (MTCE)	Emissões totais de GEE (MTCO2E)	Alterações total no uso energético (milhões de BTU)
Simulação 1 (cen. Atual versus cen. 1)	Geração e gerenciamento de resíduos sólidos	Linha de base	4.560,56	16.722,05	17.525,73
		Cenário 1	-2.862,94	-10.497,46	-359.242,91
		Emissões incrementais de GEE	-7.423,50	-27.219,51	-376.768,64
Simulação 2 (cen. Atual versus cen. 2)	Geração e gerenciamento de resíduos sólidos	Linha de base	4.560,56	16.722,05	17.525,73
		Cenário 2	-6.098,02	-22.359,40	-449.744,37
		Emissões incrementais de GEE	-10.658,58	-39.081,44	-467.270,10

Os cenários para o ano de 2026 contêm as mesmas porcentagens de resíduos destinados a reciclagem, aterro sanitário, incineração e compostagem. E como calculado anteriormente, como os resíduos foram reduzidos (projeção de RSU) a geração de gases de efeito estufa acompanhou esta queda nos dois casos.

Tabela 9: Resultados de 2036 para geração de gases de efeito estufa

Simulação	Operação	Cenário	Emissões totais de GEE (MTCE)	Emissões totais de GEE (MTCO2E)	Alterações total no uso energético (milhões de BTU)
Simulação 1 (cen. Atual versus cen. 1)	Geração e gerenciamento de resíduos sólidos	Linha de base	4.928,62	18.071,59	18.940,14
		Cenário 1	-3.094,00	-11.344,65	-388.235,48
		Emissões incrementais de GEE	-8.022,61	-29.416,25	-407.175,62
Simulação 2 (cen. Atual versus cen. 2)	Geração e gerenciamento de resíduos sólidos	Linha de base	4.928,62	18.071,59	18.940,14
		Cenário 2	-6.590,16	-24.163,90	-486.040,83
		Emissões incrementais de GEE	-11.518,77	-42.235,50	-504.980,97

Os cenários apresentados para o ano de 2036 possuem as mesmas porcentagens para cada destino de resíduos, e como calculado nas projeções anteriormente, quanto menor a quantidade de resíduos sólidos, conseqüentemente menor a quantidade de gás lançado na atmosfera.

Análise da produtividade de biogás do aterro a partir do programa LandGEM

Para determinar se um aterro possui produtividade de biogás suficiente para produção de energia é necessário analisar a quantidade de resíduos sólidos produzida por cada cidade participante do consórcio, utilizando a projeção populacional realizada anteriormente, porém na versão completa para todos os anos. Inserindo os valores necessários no programa LandGEM é possível encontrar os resultados apresentados na Tabela 10. Na mesma tabela apresentam-se a projeção total populacional e projeção de quantidade de resíduos produzidos para os anos 2016 até 2036.

Tabela 10: Estimativa de Emissões de Gases de Aterro Sanitário, por meio do LandGEM, Para o Consórcio da Zona da Mata de Minas

Ano	População do consórcio	Quantidade total de Resíduos Sólidos Urbanos produzidos (t/ano)	Emissões			
			Gás total do aterro (Mg/ano)	Metano (Mg/ano)	Dióxido de carbono(Mg/ano)	NMOC (Mg/ano)
2016	465241	48478,35	0,00	244,38	0,00	0,00
2017	466269	48478,35	914,91	476,85	670,53	10,50
2018	467273	48478,35	1785,20	697,97	1308,35	20,50
2019	468264	48478,35	2613,04	908,31	1915,07	30,00
2020	469248	48478,35	3400,51	1108,40	2492,20	39,04
2021	470230	48478,35	4149,58	1298,72	3041,18	47,64
2022	471215	48478,35	4862,11	1479,77	3563,39	55,82
2023	472208	48478,35	5539,89	1651,98	4060,13	63,60
2024	473216	48478,35	6184,62	1815,79	4532,64	71,01
2025	474244	48478,35	6797,90	1971,62	4982,11	78,05
2026	475296	54900,50	7381,27	2152,22	5409,66	84,75
2027	476378	54900,50	8057,40	2324,01	5905,18	92,51
2028	477494	54900,50	8700,55	2487,42	6376,54	99,89
2029	478651	54900,50	9312,33	2642,87	6824,90	106,92
2030	479852	54900,50	9894,27	2790,73	7251,41	113,60
2031	481103	54900,50	10447,83	2931,38	7657,11	119,95
2032	482409	54900,50	10974,40	3065,17	8043,02	126,00
2033	483776	54900,50	11475,28	3192,44	8410,11	131,75
2034	485208	54900,50	11951,74	3313,50	8759,30	137,22
2035	486713	54900,50	12404,96	3428,65	9091,46	142,42
2036	488296	59331,22	12836,07		9407,42	147,37

Segundo a projeção de Barros, Tiago Filho e Silva de 2011, a construção de usinas de biogás provenientes de aterro sanitário é viável para populações acima de 400.000 habitantes, mesmo que o investimento para geração de energia também aumente, visto que há uma redução do custo de produção e um aumento da energia produzida. Sendo assim, para a população analisada no trabalho, a construção da usina para aproveitamento do biogás gerado no aterro é viável.

Conclusão

O aumento da geração de resíduos sólidos, devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, traz à tona os problemas de gestão e o desafio que é tratar, destinar e/ou reaproveitar esses resíduos, de uma forma ambientalmente adequada e economicamente viável. Uma das alternativas a esse progressivo aumento é o aproveitamento para geração de energia, o que viria a calhar no atual cenário de crise energética do Brasil.

Neste presente artigo realizou-se a avaliação do crescimento populacional do Consórcio Zona da Mata (MG) e seu impacto na geração de resíduos sólidos, além de quantificar os GEE produzidos através do uso da ferramenta WARM. A partir disso foi possível traçar dois cenários com relação a destinação dos resíduos do consórcio. O primeiro cenário foi eleito o mais plausível de ser alcançado, por ser compatível com a realidade de investimentos em infraestrutura e da conscientização da população necessários. Posteriormente foi estimado o potencial de aproveitamento energético do Biogás com o uso da ferramenta LandGem, e concluído que, para a população analisada no trabalho, a construção da usina para aproveitamento do biogás gerado no aterro é viável.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2010): “A utilização do biogás como combustível para geração de energia elétrica não apenas aproveita de forma sustentável este subproduto da disposição dos resíduos sólidos, como também evita que o gás metano nele contido seja emitido para a atmosfera. Como o metano tem potencial 21 vezes maior que o CO₂ para aumento do efeito estufa, a queima do biogás na produção de energia gera emissões evitadas deste gás”. As emissões evitadas podem em seguida

ser credenciadas como créditos de carbono comercializados no mercado, resultando em uma nova fonte de receita. Estes fatores comprovam ainda mais a importância do aproveitamento energético do biogás gerado.

Referencias bibliográficas

ABRELPE, *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2011*. Disponível em: <<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf>>. Acesso em: 16 de maio de 2016.

ANDRADE, Marcio Antonio Nogueira; RANZI, Tiago Juruá Damo; MUNIZ, Rafael Ninno; SILVA, Luiz Gustavo de Souza e; ELIAS, Marcos José. *Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BARROS, Regina Mambeli. *Tratado sobre Resíduos Sólidos: Gestão, Uso e Sustentabilidade*. 1 ed. 2013.

BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L.; SILVA, F. G. B. *Análise da viabilidade econômica para implantação de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de biogás de aterro sanitário de resíduos urbanos no Brasil*. Águas & Resíduos – 14º ENaSB/14º SILUBESA – RESÍDUOS URBANOS, série III, nº 15, p. 16-25, 2011.

CAIXETA, Dalma Maria. *Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS*. 2005. 86 p. Monografia (Especialização em direito ambiental e desenvolvimento sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

Ministério do Meio Ambiente (2010). *Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2016.

PAVAN, Margareth de Cássia Oliveira. *Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil*. 2010. 187 p. Tese (Doutorado em Energia) – Programa de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo.