

Cálculo do Potencial de Geração de Energia para o Aterro Sanitário de Uberlândia

Wilson Pereira Barbosa Filho

Fundação Estadual do Meio Ambiente – Brasil
Universidade Federal de Minas Gerais – Brasil
wilson.filho@meioambiente.mg.gov.br

Matheus Veiga Manini Barbosa

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais–Brasil
matheusvbarbosa@gmail.com.br

Alessandra Jardim de Souza

Fundação Estadual do Meio Ambiente – Brasil
alessandra.souza@meioambiente.mg.gov.br

Abílio Cesar Soares de oliveira

Fundação Estadual do Meio Ambiente – Brasil
abilioazvedo49@gmail.com

ABSTRACT

This study will analyze only the energy use of biogas from landfills for electricity generation, public policies and the case study of the landfill of the municipality of Uberlândia, state of Minas Gerais. The study used is based on the baseline methodology, consolidated with the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "Tool to determine methane emissions from disposal of waste at a solid waste disposal site" (version 04). Biogas capture projects can reduce greenhouse gas emissions in two ways: firstly, biogas methane is destroyed by combustion. It is estimated that one tonne of methane will have an effect on global warming equivalent to one tonne of carbon dioxide. And secondly, it is possible to use biogas as fuel to generate electricity. As biogas replaces the use of fossil fuels, then the emission of carbon dioxide by fossil fuels is avoided. For the purpose of this article, we propose to analyze the generation of energy in the Uberlândia landfill.

Keywords: Landfill gas; Energy; Sustainability; Mathematical modeling; Public policy.

1. INTRODUÇÃO

Todo ano, no Brasil, 45 milhões de toneladas de lixo são depositadas em aterros equivalentes a cerca de 57.000 GWh de energia elétrica. Esta energia corresponde a uma usina de 6.500 MW funcionando continuamente, ou cerca de 13% do consumo de energia elétrica do Brasil do ano de 2005 (RIBEIRO e OLIVEIRA, 2005). O aproveitamento energético de Resíduos Sólidos urbanos - RSU pode ser realizado por meio dos processos de incineração, gaseificação, do aproveitamento do biogás produzido a partir do lixo, seja por queima direta ou através de sua produção pelo processo de biometanização. Neste estudo será analisado apenas o aproveitamento energético do biogás proveniente de aterros sanitários para geração de energia elétrica, políticas públicas e o estudo de caso do aterro do município de Uberlândia, estado de Minas Gerais. O estudo utilizado baseia-se na metodologia de linha de base, consolidada junto à *United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*, "Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site" (versão 04). A geração de biogás em aterros sanitários é afetada por diversas variáveis, entre as quais podem ser citadas: natureza dos resíduos, umidade, estado físico (tamanho das partículas), pH, temperatura, nutrientes, capacidade-tampão e taxa de oxigenação. Os benefícios

Ambientais da coleta e utilização do gás de aterro, segundo USEPA (2009) são a redução direta e indireta da emissão de GEE e a redução direta e indireta de outros gases poluidores do ar, reduzindo o impacto humano sobre as mudanças climáticas globais. São citados ainda, como benefícios, o aumento da qualidade ambiental nas comunidades vizinhas devido à redução da emissão de odores e a redução do risco de explosões. A redução direta da emissão de GEE se dá pela conversão do metano em água e dióxido de carbono quando o gás é queimado para produção de eletricidade ou calor. A redução indireta ocorre devido ao deslocamento, pelo uso de energia elétrica a partir de biogás de aterro - LFG, da energia elétrica produzida por recursos não renováveis (como carvão, óleo ou gás natural) que seriam necessários para produzir a mesma quantidade de energia. Isso evita a emissão de gases a partir da combustão de combustíveis fósseis em uma planta de energia. Segundo o Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2015, 57,71% da população urbana era atendida por sistemas de tratamento e/ou disposição final de RSU regularizados ambientalmente, porcentagem que representa os 9.647.120 habitantes de 296 municípios, considerando os dados do CENSO-IBGE 2010. No ano de 2016, esse índice aumentou para 57,78%, representando os 9.658.332 habitantes de 322 municípios. Durante o ano de 2016, ocorreu intensa movimentação quanto à obtenção e perda de regularização ambiental, bem como à contratação de serviços de terceiros. Sendo assim, nesse período de um ano, ocorreu acréscimo final de 0,07% de população urbana e agregação de mais 26 municípios regularizados (FEAM, 2018).

2. BIODEGRADAÇÃO ANAERÓBICA

A biodegradação anaeróbica se inicia após o esgotamento natural do oxigênio nas câmaras dos aterros. A compactação do lixo realizada por máquinas no momento de sua deposição contribui para a diminuição do oxigênio no interior das câmaras. O processo acontece em vários estágios devido à presença de bactérias que se alimentam de matéria orgânica transformando-a em compostos mais simples. Os principais grupos de microorganismos atuantes no processo são os organismos hidrolisantes-fermentativos, acetógenos e metanógenos que são responsáveis pela quebra das ligações dos polímeros e produção de gás carbônico, produção de ácido acético e produção de metano respectivamente. Segundo Maciel (2003), no início da fase I, fase aeróbia, o ar atmosférico ($n_2 \approx 80\%$ e $o_2 \approx 21\%$) é predominante na massa de lixo. À medida que o o_2 vai sendo consumido pelas bactérias aeróbias, o co_2 começa a ser gerado. Nas fases 2 e 3, fases ácidas, a concentração de co_2 representa a maior parte dos gases gerados no aterro devido aos processos acidogênicos e acetogênicos que resultam na formação de co_2 e h_2 . No final da fase III, metanogênica instável, a população das arqueias metanogênicas começa a crescer, caracterizando o início da geração de ch_4 . O biogás é gerado na fase metanogênica, fase 4, sendo composto basicamente pelo ch_4 e co_2 , numa proporção de 45-60% e 35-50% respectivamente. Ao final da degradação dos resíduos orgânicos (fase V), a concentração destes gases tende a cair e condições aeróbias (n_2 e o_2) podem vir a aparecer na massa de lixo a depender da susceptibilidade do aterro aos condicionantes atmosféricos.

3. POLÍTICAS PÚBLICAS

Com a promulgação da Resolução Normativa - REN 482/2012, a consequente implementação do sistema de compensação de energia elétrica brasileiro e a modificação do PRODIST, criou-se uma

possibilidade regulatória para os chamados micro e minigeradores, agentes da Geração Distribuída - GD, e removeu a barreira de conexão e contratação de energia. Em Audiência Pública realizada pela ANEEL em novembro de 2015, foi aprovada a REN 687/2015, que altera a REN 482/2012, que havia instituído a Geração Distribuída. Em suma, a ANEEL tornou mais fácil para que as pessoas e empresas possam produzir a sua própria energia a partir de fontes renováveis (solar, eólica, hidráulica e de biomassa). Esta revisão traz como principais alterações as descritas a seguir (BRASIL A. N., Resolução Normativa Nº 687/2015, 2015):

- Estabelecimento das modalidades de autoconsumo remoto e geração compartilhada: abrindo as portas para a geração em terrenos afastados do local de consumo (mas ainda na área da mesma distribuidora) e para vizinhos que queiram participar do sistema de compensação de energia;
- Possibilidade de compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais de grupos empresariais;
- Sistemas de geração distribuída condominiais (pessoas físicas e jurídicas);
- Ampliação da potência máxima de 1 MW para 5 MW;
- Ampliação da duração dos créditos de energia elétrica de 36 meses para 60 meses;
- Padronização dos formulários de pedido de acesso para todo o território nacional;

Além disso, para a conexão geração distribuída em unidade consumidora existente sem necessidade de aumento da potência disponibilizada, a distribuidora não pode exigir a adequação do padrão de entrada da unidade consumidora em função da substituição do sistema de medição existente, exceto em caso de inviabilidade técnica devidamente comprovada.. Segundo Coelho (2017) o Brasil possui 126 plantas de produção de biogás com produção média de 1.373 mil Nm³/dia. Minas Gerais responde com 41 plantas com uma produção média de biogás de 892 mil Nm³/dia. A partir da publicação da REN nº 687, o resultado consolidado das projeções da micro e minigeração distribuída e da GD contratada pelas distribuidoras é apresentado no gráfico a seguir. A potência instalada de biogás em GD aumentou cerca de 4 vezes, conforme apresentado na Figura 1.

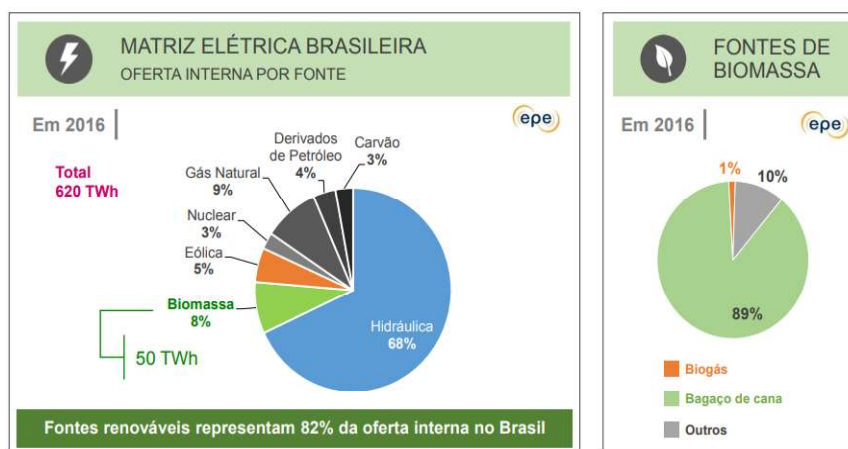
Figura 1: Potência instalada de biogás a partir da REN 687



Fonte: Coelho, 2017

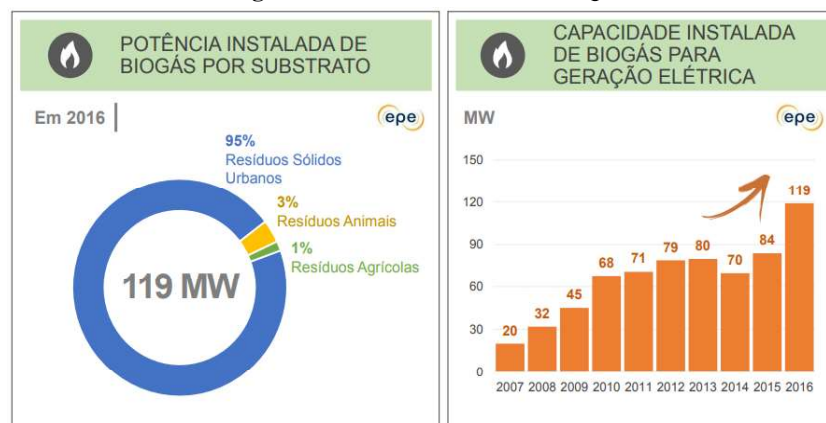
A GD é uma boa saída para pequenos projetos, pois elimina o risco de não fornecimento de energia, visto que, o produtor não será penalizado no caso de não conseguir gerar eletricidade, devido a sazonalidades e alterações climáticas. Nesse contexto da GD, a produção de energia por meio de biogás é um implemento importante na busca de uma matriz elétrica diversificada, tanto para garantir o fornecimento de eletricidade, quanto para diminuir a dependência das energias não renováveis como os combustíveis fósseis e também a diminuição da emissão de gases de efeito estufa (GEE). Estudo da EPE demonstra uma parcela ainda pequena na participação do biogás na matriz energética brasileira, porém crescente, conforme Figuras 2 e 3.

Figura 2: Participação do biogás na matriz energética brasileira



Fonte: Coelho, 2017

Figura 3: Potência instalada de biogás



Fonte: Coelho, 2017

O biogás é gerado nos aterros por décadas, o que possibilita seu aproveitamento energético. Um aterro com cerca de 1 milhão de toneladas (típico de um município de cerca de 300 mil habitantes) pode ter uma potência de cerca de 1 MW de energia elétrica por uma década, utilizando motores de combustão interna ou até mesmo um sistema de geração ciclo Rankine (caldeira e turbina a vapor). A tabela 1 apresenta dados de geração de energia nos principais aterros de Minas Gerais.

Tabela 1: Geração de eletricidade em aterros sanitários de Minas Gerais

Municípios	Produção de RSU (t/a)	Potencial de geração de eletricidade (Gwh/a)	Potência média instalada (MW)
Belo Horizonte	1.689.056	174 - 270	20 - 31
Contagem	422.345	44 - 68	5 - 7,5
Uberlândia	415.465	43 - 66	5 - 7,5
Juiz de Fora	356.359	37 - 57	4 - 6,5
Betim	242.261	35 - 39	3 - 4,5
Minas Gerais	8.314.612	856 - 1330	98 - 152

Fonte: Feam, 2018

4. METODOLOGIA

Para efeito desse artigo, propomos analisar a geração de energia no aterro de Uberlândia. O município de Uberlândia está localizado no Triângulo Mineiro. As principais atividades econômicas desenvolvidas são açúcar e álcool, pecuária, produção e processamento de grãos, processamento de carne, cigarros, fertilizantes, processamento de madeira, reflorestamento, venda por atacado. A média de crescimento populacional do município é estimada em 3,89% ao ano, o que supera a média de crescimento brasileira. O aterro sanitário em análise está localizado na Estrada do Salto, s/n, em uma área industrial a aproximadamente 7 km do centro de Uberlândia. A área total do terreno do Aterro de Uberlândia é de 300 mil m². Dentro desta área encontra-se o aterro sanitário (ocupando atualmente 150 mil m²) e a unidade de pré-tratamento do lixiviado. Nos outros 150 mil m² foi instalado o novo Aterro sanitário de Uberlândia, ora em operação. (Barbosa *et al*, 2009). Para estimar o potencial de geração de biogás nesse aterro sanitário, inicialmente foi projetada a quantidade de resíduos a serem a ele destinados até o final da sua vida útil. A partir dos registros da quantidade de resíduos destinados ao aterro e das projeções calculadas, foi empregada a metodologia de linha de base, consolidada junto à UNFCCC, “*Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site*” (versão 04). Para estimar o potencial de energia elétrica foi considerada a vazão de CH₄ disponível no aterro, por ano (conforme metodologia referida) multiplicada pelo poder calorífico inferior do combustível e pela eficiência de conversão, adotando-se os fatores de conversão de unidades apropriadas. O poder calorífico do LFG foi estimado apenas em função da fração de CH₄.

4.1 Projeção da geração de resíduos

Para projetar a geração de resíduos em cada ano, até o fim da vida útil do aterro, foi considerada a taxa de geração per capita atual e a projeção da população do município, obtida para cada ano conforme método de tendência de crescimento demográfico utilizado pelo IBGE, que tem como princípio fundamental a subdivisão de uma área maior, cuja estimativa já se conhece, em n áreas menores, de tal forma que seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, previamente conhecida, da área maior por meio da soma das estimativas das áreas menores conforme metodologia das estimativas das populações residentes nos municípios brasileiros (FEAM, 2009).

4.2 Potencial de geração de metano

A quantidade de CH₄ produzido no ano y ($BE_{CH_4, SWDS,y}$) é calculada conforme equação 1 apresentada a seguir e com parâmetros apresentados na Tabela 2:

$$BE_{CH_4, SWDS,y} = \varphi (1-f) * GWP_{CH_4} * (1-OX) * 16/12 * F * COD_f * FCM * \sum \sum W_{j,x} * COD_j * e^{-kj(y-x)} * (1 - e^{-kj}) \quad (1)$$

Onde:

$BE_{CH_4, SWDS,y}$ = emissões de metano durante o período de atividade do projeto (tCO₂e); φ = de metano capturada e queimada nos aterros de RSU; GWP_{CH_4} = Potencial de aquecimento global do metano pelo período de 100 anos; resíduo orgânico tipo j, evitado de ser disposto em aterro no ano x (ton); COD_j = Fração de carbono orgânico degradável no resíduo tipo j; OX = Fator de oxidação; F = fração de metano no biogás de aterro; COD_f = fração de carbono orgânico degradável que se decompõe; FCM = fator de correção do metano (varia em função do tipo de local onde os resíduos seriam dispostos, devendo ser considerado igual a 1,0 para o caso do aterro em análise); $W_{j,x}$ = Quantidade orgânica dos resíduos e depende do teor de papéis/papelões, folhas, têxteis, madeiras e restos de comida; K_j = taxa de decaimento para resíduo j; X = Ano durante o período de crédito; ($X = 1$) ao ano y para o qual são calculadas as emissões evitadas; Y = ano para o qual são calculadas as emissões evitadas.

Os parâmetros fixos empregados na equação 1, adotados na metodologia empregada nesse estudo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros fixos para cálculo das emissões de linha de base

Parâmetro	Variável	Valor
Fator de correção do modelo		90%
Fração de metano capturada e queimada nos aterros	f	0
Potencial de aquecimento global do metano	GWP_{CH_4}	21
Fator de oxidação: cobertura por solo ou composto	OX	0,1
Fração de carbono orgânico degradável que se decompõe	COD_f	50%
Fator de correção de metano: disposição anaeróbica dos RSU	FCM	1

Fonte: UNFCCC, 2009

A partir da quantidade de CH₄ gerada em cada ano, se pode estimar a quantidade de metano passível de ser capturada ($MD_{Project,y}$), considerando uma taxa de recuperação (TR), conforme a equação 2. A TR representa a fração de todo biogás gerado no aterro, que pode ser recuperada.

$$MD_{Project,y} = BE_{CH_4, SWDS,y} * TR \quad (2)$$

Onde: $MD_{Project,y}$ = quantidade de CH₄ que pode ser coletada/destruída no ano y; TR = taxa de recuperação de CH₄.

Considerando a massa específica do metano nas condições padrão de temperatura e pressão, se pode estimar a vazão de LFG disponível para aproveitamento energético no aterro pelo emprego da equação 3.

$$LPG[Nm^3/h] = [(MD_{Project,y} / GWP_{CH_4} * 1) / \rho_{CH_4} * 91/87600 * (1/\%CH_4)] \quad (3)$$

Onde: $LPG[Nm^3/h]$ = Vazão de LFG, em Nm^3/h ; ρ_{CH_4} = Massa específica do CH_4 , em t_{CH_4}/m^3 .
 $\rho_{CH_4} = 0,0007167 t_{CH_4}/m^3$; 8760 = Número de horas em um ano de 365 dias, (h/ano); $\%CH_4$ = fração de CH_4 no LFG.

4.3 Potencial de geração de energia

A potência disponível em cada ano pode ser obtida pela aplicação da equação 4. Considerando a vazão de CH_4 disponível em cada aterro, por ano, multiplicada pelo poder calorífico inferior do metano e pela eficiência de conversão e adotados os fatores de conversão específicos.

$$P = [LFG (Nm^3/h) * (PCL_{ch4} * \rho_{CH_4}) * \eta / (860.000)] \quad (4)$$

Onde: P = Potência disponível a cada ano (MW); PCL CH_4 = Poder calorífico inferior do CH_4 ; PCL CH_4 = 11.954 kcal/kg; η = eficiência de conversão (%); 860.000 = fator de conversão de unidades.

A eficiência do motor para a combustão interna do biogás adotada foi de 32%. O potencial de geração de energia elétrica $EG_{m,y}$ estimado com base na máxima potência disponível em cada ano é calculada conforme equação 5.

$$EG_{m,y} = P * 8760 \quad (5)$$

Onde: $EG_{m,y}$ é o potencial de geração de energia elétrica no ano y (MWh); P = Potência disponível a cada ano (MW); 8760 = Número de horas em um ano com 365 dias.

4.4 Cálculo do potencial de geração de energia para o aterro de Uberlândia

A expectativa de destinação de resíduos ao aterro sanitário de Uberlândia nos anos de 2009 e 2010 foi adotada com base nos estudos realizados pela empresa Limpebras (Tabela 3).

Tabela 3: Projeção da geração de resíduos no município de Uberlândia até o fechamento do aterro

Ano	Geração de Resíduos (t)
2009	139.866
2010	77.514

Fonte: BARBOSA et al, 2009

Empregando a equação 1, adotando os valores apresentados na Tabela 3 a 8, para os parâmetros da equação, foi estimada a quantidade de CH_4 e de energia gerada em cada ano.

Tabela 4: Fração de metano no LFG gerado no aterro de Uberlândia

Parâmetro	Variável	Valor
Fração de metano no biogás de aterro	F	56%

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia

Tabela 5: Composição dos resíduos e fração de carbono orgânico degradável – CODj (Informações em base úmida) - Uberlândia

Item	Restos de alimentos	Papel Papelão	Madeira	Têxtil	Plástico Vidro Metal	Outros
Composição de resíduos*	47,90%	11,20%	9,50%	2,70%	17,00%	11,50%
CODj (valores sugeridos por UNFCCC, 2008)	15%	40%	43%	24%	0%	0%

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia e UNFCCC, 2008

Tabela 6: Dados climáticos do município de Uberlândia

Tipos de resíduos	Restos de alimentos	Papel Papelão	Madeira	Têxtil	Resíduos de jardins
T am > 20 C e P am > 1000 mm	0,4	0,07	0,035	0,07	0,17

Fonte: BARBOSA *et al*, 2009

Tabela 7: Parâmetros para cálculo das emissões no aterro de Uberlândia

Tipo de resíduos	Wj	CODj	Kj
Restos de alimentos	47,90%	15%	40,00%
Papel e Papelão	11,20%	40%	0,07
Madeira	9,50%	43%	0,035
Têxtil	2,70%	24%	0,07
Inorgânicos e outros	28,50%	0%	-

Fonte: UNFCCC, 2009

5 RESULTADOS

Aplicando a metodologia da UNFCC foi construída a tabela 8 com resultados gerais apresentados ano a ano. Nas colunas 2 e 3 da tabela 8, respectivamente, são apresentadas as emissões de CH₄ geradas e as coletadas no aterro. Empregando-se a equação 2, considerando uma taxa de recuperação de 70%, obtêm-se a quantidade de LFG que pode ser coletada no aterro, em cada ano, apresentado na quarta coluna da tabela 8. Considerando o percentual de CH₄ no LFG gerado no aterro e empregando a equação 3, obtêm-se as vazões de biogás no aterro, para cada ano. A taxa de vazão estimada do biogás é apresentada na sexta coluna da referida Tabela. Por fim, a potência e a energia disponíveis em cada ano foram obtidas pelas equações 4 e 5, e apresentados na sétima e oitava colunas da tabela 8, respectivamente. Em 2010, ano pico da vazão do biogás, estima-se que a vazão do biogás do aterro de Uberlândia seja suficiente para gerar 13.937 MWh de energia. Em 2040, o biogás capturado será suficiente para gerar somente 1.213 MWh de energia elétrica. Projetos de captura de biogás podem reduzir as emissões de gases de efeito estufa de duas formas: primeiramente o metano do biogás é destruído por meio da combustão. Estima-se que uma tonelada de metano possua um efeito sobre o aquecimento global equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono. E em segundo lugar, é possível usar o biogás como combustível para gerar energia elétrica. Como o biogás substitui o uso de combustíveis fósseis, então a emissão de dióxido de carbono por combustíveis fósseis é evitada.

Tabela 8: Resultados obtidos para o aterro municipal de Uberlândia

Ano	Emissões de CH4 geradas (tCO2e)	Emissões de CH4 coletadas (tCO2e)	Vazão de LFG gerada (m³/h)	Vazão de LFG captada (m³/h)	Vazão de Biogás gerado (m³/h)	Potência disponível (MW)	Potencial de geração de energia elétrica (MWh)
2010	94.759	66.331	1.283	898	503	1,59	13.937
2011	74.845	52.391	1,014	702	397	1,26	11.008
2012	60.867	42.607	824	577	323	1,02	8.952
2013	50.905	35.634	689	483	270	0,86	7.487
2014	43.673	30.571	591	414	232	0,73	6.423
2015	38.302	26.811	519	363	203	0,64	5.633
2016	34.210	23.947	463	324	182	0,57	5.032
2017	31.005	21.703	420	294	165	0,52	4.560
2018	28.421	19.895	385	269	151	0,48	4.180
2019	26.280	18.396	356	249	140	0,44	3.865
2020	24.459	17.121	331	232	130	0,41	3.597
2021	22.876	16.013	310	217	121	0,38	3.365
2022	21.473	15.031	291	204	114	0,36	3.158
2023	20.210	14.147	274	192	107	0,34	2.972
2024	19.060	13.342	258	181	101	0,32	2.803
2025	18.003	12.602	244	171	96	0,30	2.648
2026	17.025	11.918	231	161	90	0,29	2.504
2027	16.115	11.281	218	153	86	0,27	2.370
2028	15.266	10.686	207	145	81	0,26	2.245
2029	14.470	10.129	196	137	77	0,24	2.180
2030	13.722	9.606	186	130	73	0,23	2.018
2031	13.020	9.114	176	123	69	0,22	1.915
2032	12.358	8.651	167	117	66	0,21	1.818
2033	11.735	8.214	159	111	62	0,20	1.726
2034	11.147	7.803	151	106	59	0,19	1.639
2035	10.592	7.415	143	100	56	0,18	1.558
2036	10.068	7.048	136	95	53	0,17	1.481
2037	9.573	6.701	130	91	51	0,16	1.408
2038	9.106	6.374	123	86	48	0,15	1.339
2039	8.664	6.065	117	82	46	0,15	1.274
2040	8.246	5.772	112	78	44	0,14	1.213
Total	790.454	553.318	-	-	-	-	-

Fonte: BARBOSA *et al*, 2009

5. CONCLUSÃO

O biogás é um combustível com todas as condições técnicas e econômicas para ser explorado no Brasil. Está inserido no programa do governo de incentivo às fontes alternativas de energia (PROINFA), segundo o qual o biogás se viabiliza com um preço de cerca de 170 R\$/MWh e com os

créditos de carbono (do Protocolo de Kyoto), essenciais para os investidores e para a viabilização de projetos de UTE a biogás em aterros (ZULAUF, 2004). Em 2010, ano pico da vazão do biogás, estima-se que a vazão do biogás do aterro de Uberlândia seja suficiente para gerar 13.937 MWh de energia. Em 2040, o biogás capturado será suficiente para gerar somente 1.213 MWh de energia elétrica. Projetos de captura de biogás podem reduzir as emissões de gases de efeito estufa de duas formas: primeiramente o metano do biogás é destruído por meio da combustão. Estima-se que uma tonelada de metano possua um efeito sobre o aquecimento global equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono. E em segundo lugar, é possível usar o biogás como combustível para gerar energia elétrica. Como o biogás substitui o uso de combustíveis fósseis, então a emissão de dióxido de carbono por combustíveis fósseis é evitada. A tendência atual é de que os custos de tratamento de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais sejam ampliados, em função de uma maior preocupação ambiental, disponibilização de consórcios intermunicipais, além do apoio técnico e econômico que os municípios vêm recebendo por parte do governo do estado. Esses fatores reunidos favorecem a montagem de um cenário futuro de oportunidades econômicas e ambientais contribuindo para um melhor desenvolvimento sustentável no estado de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, W. P. F. **Estudo sobre a viabilidade de implantação do pensamento sistêmico em empresas de países em desenvolvimento**. 2009 Monografia (Especialização em gestão de estratégia e qualidade). Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro.

_____, W. P. F. *et al.* **Análise de pré-viabilidade técnica econômica e ambiental da implantação de um sistema de aproveitamento energético de biogás gerado em um aterro sanitário existente no estado de Minas Gerais**: Identificação do potencial de geração de gás metano e energético e definição do melhor tipo de aproveitamento para os aterros sanitários de Betim, Contagem e Uberlândia. Belo Horizonte: FEAM, 2009.

_____, W. P. F. *et al.* **Análise de pré-viabilidade técnica econômica e ambiental da implantação de um sistema de aproveitamento energético de biogás gerado em um aterro sanitário existente no estado de Minas Gerais: Análise da pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento energético de biogás do aterro sanitário de Contagem – Estudo de caso**. Belo Horizonte: FEAM, 2009.

COELHO, J. M. **Impactos da participação do biogás e biometano na matriz brasileira**. IV Fórum do Biogás. São Paulo/SP. 2017.

MACIEL, F. J. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos na Muribeca/PE**. 2003 Tese (Mestre em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

RIBEIRO, S. V. G.; OLIVEIRA, L. B. **Rotas tecnológicas para geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos**. Estudo realizado pelo instituto virtual internacional de mudanças globais da COPPE/UFRJ para a Petrobrás. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005.