

Oportunidades para o Biogás de Digestão Anaeróbia em Clusters Cerâmicos

(Opportunities for Anaerobic Digestion Biogas in Ceramic Clusters)

M.D. Berni¹; P.C. Manduca¹, T.F. Carneiro², L.S. Buller²

¹Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - UNICAMP

Rua Cora Coralina, 330 – Distrito Barão Geraldo – Campinas/SP – CEP13083-896

²Faculdade de Engenharia de Alimentos - UNICAMP

Rua Bertrand Russel, 100 – Distrito de Barão Geraldo – Campinas/SP - CEP 13083-000

e-mail do autor para correspondência: mberni@unicamp.br

Resumo

Na transição para uma economia de baixo carbono, é essencial considerar como gerar, distribuir e usar energia em nossa sociedade. Isto é particularmente importante em indústrias de uso intensivo de energia, como as do setor cerâmico, dada a escala de consumo de energia e emissões de carbono associadas. É condição elevar a eficiência energia/carbono, para que o Brasil cumpra o acordado no Acordo de Paris, COP 21. A meta é reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025. Até 2030, tais taxas devem ser 43% menores. O Brasil é o sétimo maior emissor mundial de GEE do mundo. O objetivo deste artigo é o de avaliar o potencial do biogás ocupar parcela do mercado energético do gás natural no setor cerâmico, através do biogás produzido pela digestão anaeróbia e utilizando RSU. O estudo foca os clusters cerâmicos de Mogi Guaçu-SP e de Tambaú-SP.

Palavras chaves: energia, sustentabilidade, meio ambiente, resíduos orgânicos.

Abstract

In the transition to a low carbon economy, it is essential to consider how to generate, distribute and use energy in our society. This is particularly important in energy-intensive industries such as the ceramic industry, given the scale of energy consumption and associated carbon emissions. It is a condition to increase the energy/carbon efficiency, so that Brazil complies with the agreement of the Paris Agreement, COP 21. The goal is to reduce GHG emissions by 37% below 2005 levels by 2025. By 2030 such rates should be 43% lower. Brazil is the world's seventh largest emitter of GHG in the world. The objective of this article is to evaluate the potential of biogas to occupy part of the energy market of natural gas in the ceramic sector, through the biogas produced by anaerobic digestion and using RSU. The study focuses on the ceramic clusters of Mogi Guaçu-SP and Tambaú-SP.

Keywords: energy, sustainability, environment, organic waste.

INTRODUÇÃO

Na transição para uma economia de baixo carbono, é essencial considerar como gerar, distribuir e usar energia em nossa sociedade. É essencial buscar o aumento da eficiência energia/carbono, para que a indústria cerâmica brasileira permaneça internacionalmente competitiva para continuar gerando emprego renda e benefícios, garantindo o desenvolvimento sustentável no longo prazo.

Em 2015, o mundo se comprometeu com o histórico Acordo de Paris, onde 195 países assumiram tomar medidas para reduzir as emissões. O Brasil busca cumprir o seu papel na concretização do Acordo de Paris, através do seu enquadramento climático interno. A meta é reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025. Até 2030, tais taxas devem ser 43% menores. O Brasil é o sétimo maior emissor mundial de GEE do mundo. Para atingir os compromissos no Acordo de Paris, o Brasil precisa se deslocar para uma economia de baixo carbono, mais eficiente em termos energéticos. Neste contexto o setor industrial será chamado a dar sua contribuição com o setor cerâmico tendo importante papel na descarbonização da economia.

Este artigo, tem por objetivo avaliar o potencial do biogás ocupar parcela do mercado energético do setor cerâmico através da tecnologia da digestão anaeróbia, tendo-se por substrato a matéria orgânica dos resíduos sólidos orgânicos urbanos (RSU). Para tanto, foca-se o deslocamento de gás natural fóssil em dois clusters cerâmicos do Estado de São Paulo: Mogi Guaçu – cerâmica de revestimento, e Tambaú – cerâmica vermelha. Estudos similares sobre o uso de biogás para a fabricação de produtos cerâmicos de alta qualidade foram realizados em países escandinavos e europeus, inclusive utilizando RSU, caso por exemplo de Can Mata em Els Hostalets de Pierola, Barcelona, da CESP S.A., e a Cerâmicas Piera S.L.

Energia: cerâmica de revestimento e vermelha

A produção de revestimentos cerâmicos em escala industrial requer um elevado consumo de energia térmica e elétrica, sendo estas, utilizadas em várias etapas ao longo de todo o processo produtivo. De maneira geral, as etapas que mais consomem energia são: secagem, moagem, atomização, no caso do processamento do material por via úmida e queima. Por outro lado, uma alternativa a dependência de gás natural fóssil tem sido discutida e avaliada por conta da sustentabilidade dos clusters cerâmicos de forma compulsória por órgãos reguladores, no caso o Biogás obtido de RSU.

No Estado de São Paulo, regiões de Mogi Guaçu e Tambaú possui um dos principais clusters cerâmicos: produtores de revestimentos cerâmicos e cerâmica vermelha, possuindo grid de distribuição de gás natural que também poderá transportar biogás.

Nestes clusters entre os diversos tipos de resíduos e efluentes gerados, aqueles compostos por materiais orgânicos destacam-se como uma significativa fonte de contaminação ambiental, pois, quando não são tratados de forma adequada, tornam-se uma relevante fonte de contaminação do solo e corpos hídricos, proliferação de vetores e doenças, geração de maus odores e emissão de gases causadores do efeito estufa.

Implantar soluções que permitam aos processos industriais gerar energia para suprir toda ou parte de sua demanda energética é um fato relevante para a sustentabilidade da cadeia produtiva cerâmica

MATERIAIS E MÉTODOS

O crescimento da RAC tem sido alicerçado com investimentos em infraestrutura, energia e, sobretudo, transportes, que ampliaram a malha rodoviária regional, além da existência da Refinaria de Paulínia e da instalação de instituições de pesquisa e Universidades. O parque produtivo tem forte presença de setores modernos e plantas industriais de alta tecnologia que, ao atraírem diversas redes de fornecedores especializados, aumentam o dinamismo industrial, intensificando as relações entre as empresas.

A disponibilidade de mão-de-obra, com capacidade de ocupar postos de trabalho que exigem elevada qualificação, formada a partir do excelente parque universitário instalado, colabora para acentuar esse dinamismo, aumentando os níveis de competitividade da indústria e gerando um círculo virtuoso [1]. Na produção de bens intermediários, na RAC destacam-se a indústria química, indústrias de celulose e papel e de minerais não-metálicos. A região possui diversos Arranjos Produtivos Locais (APL), como são os casos de cerâmica de revestimento em Mogi Guaçu e, cerâmica vermelha em Tambaú.

Área de estudo

A área de estudo deste trabalho é composta por 92 municípios (Figura 1) sendo chamada de Região Administrativa de Campinas (RAC). A RAC ocupa uma área de 27.079 km², que representa 10,9% do território total do estado de São Paulo [2] e [3].

O Aglomerado Urbano de Mogi-Guaçu-Mogi-Mirim-Estiva Gerbi-Itapira (AUMG), juntos abrigam uma população de 319.591 habitantes. As maiores concentrações populacionais estão nos municípios de Mogi-Guaçu (147 mil habitantes) e Mogi-Mirim (90 mil habitantes). O município de Mogi-Guaçu, sede da aglomeração, fica a 168 km da capital paulista e a 50 km de Campinas[2].

O Aglomerado Urbano de Tambaú (AUTB), tem como municípios vizinhos Santa Cruz das Palmeiras, o maior a 13 quilômetros, Santa Rosa de Viterbo e Santa Rita do Passa Quatro. O município de Tambaú se estende por 561,8 km² e conta com aproximadamente 22.757

habitantes [4]. O Aglomerado Urbano de Tambaú e entorno abrigam uma população total de 107.944 habitantes [5].

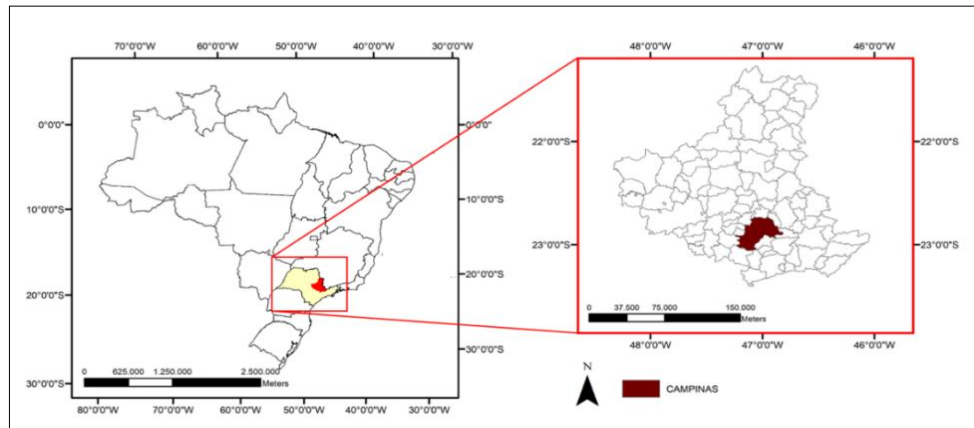


Figura 1: Localização geográfica da RAC

SIG e dados geoespaciais

A identificação e a localização georreferenciada dos municípios de Mogi Guaçu e Tambaú (Figura 2) foi realizada utilizando informações de imagens de satélites. Os municípios foram identificados por análise visual de imagens RapidEye (cloud free). [RapidEye Images are characterized as follow: resolutions spatial = 5 meters; radiometric=12 bits; spectral= 5 bands \(Blue, Green, Red, Red-Edge and Near Infrared\); temporal=5,5 days at Nadir acquiring](#) [6]. Para a vetorização manual das áreas dos municípios, foi utilizada a composição colorida NIR-R, RED-G, BLUE-B).

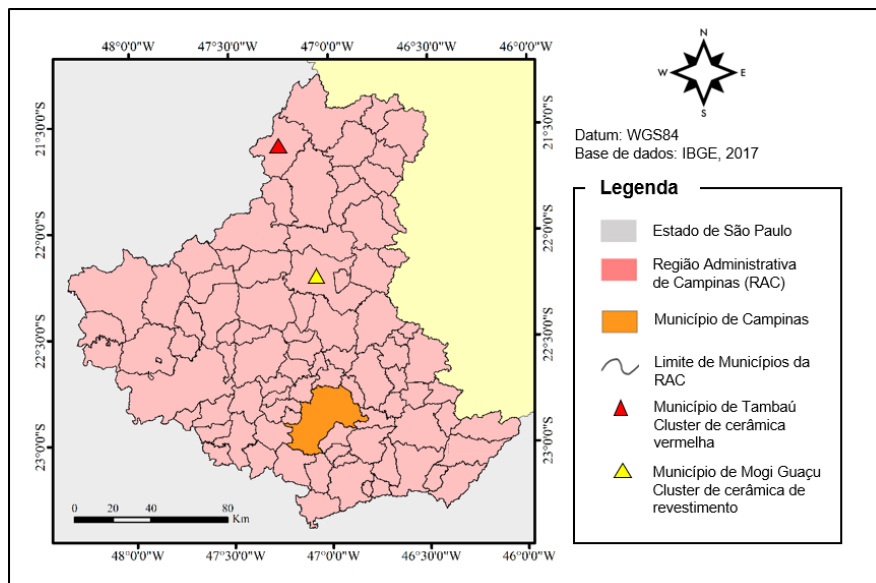


Figura 2: Municípios

Estimativa do potencial de geração de biogás

A metodologia empregada foi uma pesquisa bibliográfica, através de artigos científicos, documentos, livros, reportagens, sites governamentais e empresariais, para realizar a análise e

interpretação dos dados. Utilizou-se a base de dados *WebofScience*, refinando-se a pesquisa para buscar artigos científicos mais recentes. As palavras-chave utilizadas para a realização da pesquisa foram: setor cerâmico, biogás; digestão anaeróbia; aproveitamento de biogás; aterro sanitário; RSU e digestão anaeróbia.

Para a estimativa do potencial técnico de geração de energia do biogás, utiliza-se o seu poder calorífico inferior (PCI). O PCI do biogás varia de acordo com o resíduo que o originou segundo alguns fatores, como:

- I. Resíduos compostos por matéria orgânica de fácil degradação, como lipídeos, carboidratos e proteínas, possuem maior teor de metano. A lignina, por exemplo, dificulta o processo. O biogás rico em metano apresentará um poder calorífico superior aos que apresentarem maior quantidade de gás carbônico.
- II. Regiões de clima tropical possuem maior taxa de geração de biogás devido a faixa de temperatura ser ideal para a atividade metabólica das bactérias.
- III. A presença de oxigênio também altera a composição do biogás, dado que as bactérias formadoras de metano são anaeróbias e o oxigênio causará maior produção de gás carbônico.
- IV. Também é importante a manutenção do pH numa faixa entre 6,0 – 8,0 [7].

A composição dos resíduos de um local varia entre diferentes regiões de acordo com o número de habitantes do município, o nível educacional da população, o poder aquisitivo e o nível de renda familiar, os hábitos e os costumes da população, as condições climáticas e sazonais e a industrialização de alimentos [8].

Para os dois (2) clusters AUMG e AUTB em análise adota-se: i) composição do biogás obtido a partir da tecnologia de digestão anaeróbia: 60% metano e 40% de gás carbônico [7]; ii) PCI do biogás, para efeito de simplificação, pode ser considerado 5.000 kcal/Nm³. Entretanto, torna-se menor à medida que se eleva a concentração de substâncias não combustíveis (como umidade e CO₂) e impurezas (como H₂S), uma vez que há diferenças no poder calorífico dos gases que compõem o biogás. O metano tem PCI de 8.124 kcal/Nm³ e densidade de 0,68 kg/Nm³ [9], o que equivale a 11.937 kcal/kg, superior ao valor típico de 10.000 kcal/kg para óleos combustíveis, e semelhante ao do gás natural (GN); iii) Região Sudeste produz em média 1,213 kg por dia de RSU por habitante (ABRELPE, 2017); e iv) AUMG: 319.591 habitantes em 2018 e AUTB: 107.944 habitantes em 2018 [2].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No setor cerâmico as aplicações energéticas mais difundidas para o biogás são a utilização como combustível em caldeiras, fornos, estufas, geração de eletricidade, cogeração

(eletricidade e calor). Uma vez limpo o biogás torna-se o chamado “biometano” que pode ser injetado no grid de gás natural fóssil e como combustível veicular.

Devido a essa flexibilidade, o biogás pode ser considerado como uma fonte estratégica de energia, podendo se tornar um agente muito importante na ampliação da geração de energia elétrica distribuída, com base em fontes limpas e renováveis, bem como substituir o gás natural derivado do petróleo em fornos cerâmicos. Além disso, trata-se de uma fonte de energia estocável, podendo ser utilizada conforme a demanda.

O uso do biogás demanda seu condicionamento prévio, em função da utilização pretendida, visando à remoção de elementos que podem prejudicar os componentes mecânicos e metálicos dos sistemas de aproveitamento energético.

A seleção da tecnologia de limpeza e condicionamento do biogás deve ter, como principal critério de análise, a composição do biogás e a composição que se necessita para determinado uso, além de outras propriedades como presença de umidade, pressão, contaminantes, etc. A complexidade do sistema de limpeza do biogás, bem como os custos envolvidos, estão diretamente relacionados à complexidade do aproveitamento energético a ser implementado [10].

Para a queima do biogás com objetivo de geração de calor, pode-se realizar apenas a remoção da umidade, enquanto para injeção no grid de gás natural faz-se necessária, além da remoção da umidade, a remoção de H_2S e de CO_2 (Figura 3).

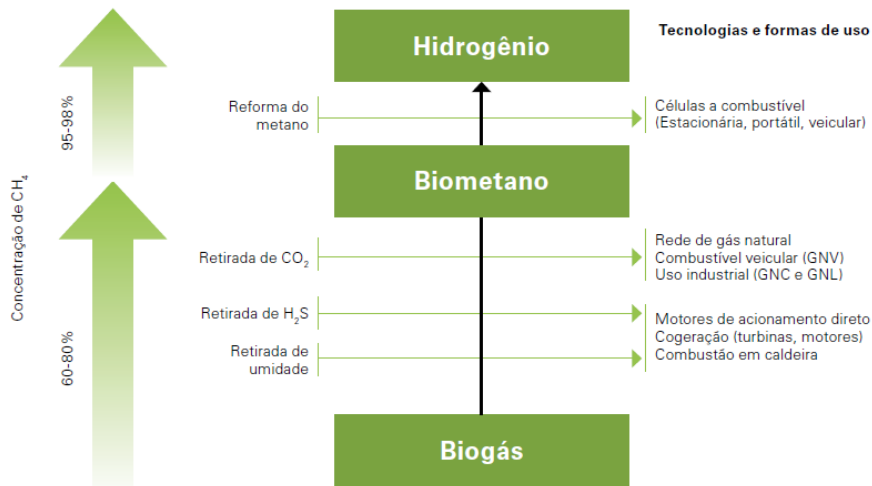


Figura 3: Purificação do biogás conforme uso final. **Fonte:** [10]

Potencial técnico de geração de energia do RSU nos Clusters AUMG e AUTB

Potenciais técnicos são aqueles que levam em conta apenas restrições tecnológicas para serem implementados, enquanto que potenciais econômicos são aqueles que, além de considerarem as restrições tecnológicas, levam em conta, também, eventuais restrições

econômicas, como, por exemplo, acesso à créditos vantajosos, eventuais incentivos fiscais, taxas de retorno almeçadas, etc. [11]. O potencial técnico representa a difusão máxima das medidas, considerando que todos os equipamentos e processos serão substituídos por outro mais eficientes quanto ao consumo de energia e abatimento de emissões.

Cluster AUMG

Os municípios que compõem o AUMG formam um aglomerado urbano próximo, onde a maior distância entre os mesmos é de no máximo 15 quilômetros, indicando que o custo logístico para implantar uma usina de biogás não será determinante. O Cluster AUMG possui 319.591 habitantes, portanto, pode-se estimar que foram produzidas 372.157 toneladas de resíduos em 2018. Desses, assume-se que 4% foram segregados e reciclados de alguma forma.

$$1,213 \text{ kg/hab/dia} \times 319.591 \text{ hab} \times 0,96 = 372,2 \text{ toneladas de RSU por dia}$$

Apenas a fração orgânica desses resíduos é capaz de gerar o biogás, mas a composição gravimétrica é difícil de ser avaliada pela inexistência de procedimentos padrões, pela heterogeneidade das amostras e pela forma de disposição desses resíduos ou tipo de aterro sanitário utilizado

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. Seguindo a estimativa da PNRS, assumiu-se que de todo o RSU após a coleta seletiva, 51,4% correspondem a matéria orgânica. Essa fração corresponde a 191,2 toneladas de matérias orgânica no Cluster AUMG para a produção de biogás.

Cluster AUTB

O município mais distante de Tambaú está a 35 quilômetros, o que parece não inviabilizar a implantação de usina de biogás no município. O Cluster AUTB possui 107.944 habitantes, portanto, pode-se estimar que foram produzidas 125.699 toneladas de resíduos em 2018. Desses, assume-se que 4% foram segregados e reciclados de alguma forma.

$$1,213 \text{ kg/hab/dia} \times 107.944 \text{ hab} \times 0,96 = 125,7 \text{ toneladas de RSU por dia}$$

Seguindo a estimativa da PNRS, assumiu-se que de todo o RSU após a coleta seletiva, 51,4% correspondem a matéria orgânica. Essa fração corresponde a 64,6 toneladas de matéria orgânica no Cluster AUTB para a produção de biogás.

Cálculo do potencial técnico geração de energia (PTGE)

Após a digestão anaeróbia da massa de resíduos, que irá gerar o biogás entre de 100 a 200 Nm³ de biogás por tonelada de RSU (FORSU), com concentração de metano em torno de 60%,

gera-se também um lodo biológico, cujo tratamento e disposição final devem ser incluídos no projeto de uma usina desse tipo [9] e [12]. Para este trabalho, adota-se a produção (densidade) 125 Nm³ de biogás por tonelada de FORSU. Aplicando-se a equação A, chega-se ao potencial técnico de geração energia (PTGE) para cada um dos clusters (Tabela 1).

$$PTGE = PCI * FORSU * D \quad (A)$$

Onde: *FORSU* = fração orgânica do RSU em ton/ano e *D* = Nm³/ton FORSU

Tabela 1: PTGE

Cluster	PTGE (a*e)	PCI (Kcal/Nm ³) (a)	FORSU (ton/ano) (c)	Biogás (Nm ³ /ton) (d)	Produção biogás (Nm ³) (e = c * d)
AUMG	4,36 * 10 ¹⁰ Kcal 4.360 tEP 197.072 GJ 54.742 MWh	5.000	69.788	125	8.723.500
AUTB	1,47 * 10 ¹⁰ Kcal 1.469 tEP 66.399 GJ 18.844 MWh	5.000	23.579	125	2.947.375
AUMG + AUTB	5,83 * 10 ¹⁰ Kcal 5.829 tEP 263.471 GJ 73.586 MWh				

Obs: ano = 365 dias

CONCLUSÕES

O PTGE dos clusters AUMG e AUTB pode atender o equivalente a 0,8% do total do consumo final de GN fóssil do Estado de São Paulo [13]. O PTGE de RSU no AUMG, conseguiria suprir 18,5% do consumo atual de GN do setor cerâmico do cluster, significando uma redução das emissões totais de gases de aproximadamente 6.540 toneladas CO₂ eq por ano, com a vantagem de uma solução sustentável para os RSU e a vantagem de ampliar a vida útil dos aterros sanitários existentes. O PTGE de RSU no AUTB, conseguiria suprir 17,0% do consumo de GN do setor cerâmico do cluster, significando uma redução das emissões totais de gases de aproximadamente 2.205 toneladas CO₂ eq por ano (0,15g CO₂ eq/ Kcal), com a vantagem de uma solução sustentável para os RSU e a vantagem de ampliar a vida útil dos aterros sanitários existentes. No cluster AUTB, somente duas empresas demandam GN, a Cerâmica Atlas e a Cerâmica Lepri devido requisitos de qualidade dos seus produtos finais, classificados revestimentos cerâmicos. As demais empresas do cluster tem na lenha seu principal combustível fabricando cerâmica vermelha estrutural.

Os resultados preliminares deste estudo, indicam que o aproveitamento energético dos RSU pode ser uma alternativa nos clusters desde que a variável ambiental seja precificada

calculando-se o potencial econômico, visando que o mercado consumidor demanda este combustível. Neste contexto, pode-se ter uma excelente alternativa para enfrentar o desafio da demanda energética, impactos ambientais e o bem-estar social nas cidades, através de saneamento básico.

Tabela 2: Consumo Final de Energia dos Clusters: AUMG e AUTB

Municípios AUMG	N.C.	C T Setor Industrial de GN (10 ¹⁰ Kcal)	C T Setor Cerâmico de GN (10 ¹⁰ Kcal)	C T Setor Residencial de GLP (10 ¹⁰ Kcal)	ET de GEE 10 ³ ton/ano
Estiva Gerbi	2	1,2	1,2	0,3	12,6
Itapira	-	-	-	4,4	96,1
Mogi Mirim	11	10,5	2,5	6,6	196,6
Mogi Guaçu	14	39,9	19,9	7,3	611,6
TOTAL AUMG	-	51,6	23,6	18,6	916,9
Municípios AUTB	N.C.	C T Setor Industrial de GN (10 ¹⁰ Kcal)	C T Setor Cerâmico de GN (10 ¹⁰ Kcal)	C T Setor Residencial de GLP (10 ¹⁰ Kcal)	ET de GEE 10 ³ ton/ano
Tambaú	2	8,5	8,5	1,3	63,1
Sta Cruz Palmeiras	-	-	-	0,3	65
Sta Rosa do Viterbo	-	-	-	0,6	49,7
Sta Rita Passa Quatro	-	-	-	0,7	1,3
TOTAL AUTB	-	8,5	8,5	2,9	179,1

Fonte: [14] e [15]

OBS:

(1) CT = Consumo Total, (2) ET = Emissões Totais de GEE de derivados de petróleo e GN, (3) N.C. = Número de Consumidores, (4) 1 kg de GLP = 11.100 kcal, (5) 1 m³ de GN = 9.430 kcal, (6) 13 kg de GLP = 15,30 m³ de GN - 1 m³ de GN = 9.430 kcal.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo financiamento da viagem e diárias para participação no congresso, ao NIPE pela estrutura e suporte de seus profissionais, a FAPESP pelo auxílio laboratorial no âmbito do projeto 2018/05999-0, conduzido no BIOTAR, Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP e, a EDUCORP por financiar a inscrição no 63 Congresso Brasileiro de Cerâmica.

REFERÊNCIAS

- [1]CPA-UAE, Coordenadoria de Planejamento e Avaliação (CPA) e pela Unidade de Assessoria Econômica, Escritórios Regionais da Secretaria de Economia e Planejamento, RAC, disponível: www.planejamento.sp.gov.br, Acessado: março 2019.
- [2] Fundação Seade. Atlas da Economia Paulista, 2016. A tipologia dos municípios, segundo o perfil do PIB, destaca, dentre as diversas atividades econômicas do município a de maior peso na formação do PIB municipal, Disponível em www.seade.gov.br. , Acessado março 2019.
- [3] ALESP – Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, Estatísticas. Disponível em <https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=291473>, Acessado em março de 2019.
- [4] <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-tambau.html>, Acessado em março 2019.

- [5] <http://www.perfil.seade.gov.br/#>, Acessado em março 2019.
- [6] MMA, Ministério do Meio Ambiente, Disponível: <http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=2477>, Acessado em agosto de 2017.
- [7] Zilotti, H. A. R., Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica. Dissertação - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012, 39 p.
- [8] Mattei, G.; Escosteguy, P. A. V., Composição gravimétrica de resíduos sólidos aterrados., Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, 2007.
- [9] FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais, 2012, 163 p.
- [10] FEMA, Fundação Estadual do Meio Ambiente. Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ), Belo Horizonte, MG, 2015, 160 p.
- [11] Gorla, F. D., Potencial técnico de conservação de energia na indústria brasileira, Dissertação de Mestrado FEM, UNICAMP, Campinas, SP, 2009, 146 p.
- [12] KTBL, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft eV. <https://www.portaldobiogas.com/biogas-de-residuos-solidos-organicos-urbanos/>, acessado em maio de 2018.
- [13] BEESP, Energy Balance of the State of São Paulo 2018: Year 2017, Energy and Mining State Secretariat São Paulo, Energy Information Series, 002, 2018, 274 p
- [14] COMGAS, Generalidades e conversão energética, disponível: https://www.comgas.com.br/wp-content/uploads/2017/05/RIP-2014_2, Acessado: abril 2019.
- [15] SEM, Secretaria de Energia e Mineração, Estado de São Paulo, Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo, Série Informações Energéticas, ano base 2017, São Paulo, 2018. 120 p.