

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIA.**

MARCELO FOELKEL PATRÃO

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS COM RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS – ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE JUNDIAÍ**

CAMPINAS

2018

MARCELO FOELKEL PATRÃO

Dissertação apresentada para
obtenção do Título de Mestre em
Sistemas de Infraestrutura Urbana
ao Programa de Pós-Graduação em
Sistemas de Infraestrutura Urbana –
CEATEC – Pontifícia Universidade
Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos
Demanboro

PUC-CAMPINAS

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada por Marluce Barbosa – CRB 8/7313
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

t665.776 Patrão, Marcelo Foelkel.
P314p Potencial de geração de biogás com resíduos sólidos urbanos: estudo de caso da cidade de Jundiaí / Marcelo Foelkel Patrão. – Campinas: PUC-Campinas, 2018.
79 f.

Orientador: Antonio Carlos Demanboro.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Inclui anexo e bibliografia.

1. Biogás. 2. Resíduos sólidos. 3. Desenvolvimento sustentável - Legislação. 4. Meio ambiente - Estatuto legal, leis, etc. II. Demanboro, Antonio Carlos. III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

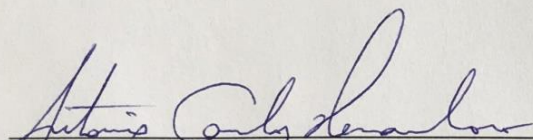
CDD – 22.ed. t665.776

MARCELO FOELKEL PATRÃO

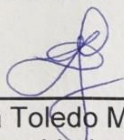
**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS COM
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS - ESTUDO DE CASO
DA CIDADE DE JUNDIAÍ**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Antonio Carlos Demanboro.

Dissertação defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2018 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Antonio Carlos Demanboro
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Pedro Sérgio Fadini
Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Dedico esse trabalho à Deus, por permitir
mais essa conquista em minha vida.

Dedico também a minha esposa e
aos meus pais, que sempre acreditaram
e incentivaram o meu crescimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu forças para realizar esse trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Demanboro, pela paciência em me orientar e por seus conselhos e comentários ao longo de todo o tempo.

Ao Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota (In Memoriam), que sem seu apoio jamais teria iniciado essa caminhada.

A todos os professores do curso de mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC-Campinas, pela dedicação dispendida e paixão pelo ensino.

Aos meus pais Valdir e Magali, que sempre estiveram ao meu lado.

E em especial a minha esposa Claudia que acompanhou de perto toda a evolução e dificuldade, teve paciência, me auxiliou e apoiou em todos os momentos principalmente os ruins.

A minha tia Margarete e minha avó Maria (Cida) por suas orações.

E a minha avó Margarida que lá do céu deve estar muito orgulhosa.

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez.”

Jean Cocteau

RESUMO

Com o aumento da população das cidades brasileiras e o despejo irregular dos resíduos sólidos urbanos, houve a necessidade da criação de diretrizes para a implantação de uma gestão de resíduos sólidos nos municípios. Assim, surgiu a Lei Federal 12.305/2010, que estabeleceu diretriz e mostrou caminhos para uma gestão responsável dos resíduos sólidos urbanos. Atrelado a isso, há também uma busca por tornar viáveis energias renováveis e fontes alternativas de combustíveis, como, por exemplo, o biogás gerado através dos resíduos sólidos urbanos. Vislumbra-se um mercado promissor para novas tecnologias de tratamento de resíduos, bem como um aumento na busca por maior conhecimento desse novo mercado que se inicia no país, por parte dos gestores públicos e privados, a fim de consolidar e nacionalizar técnicas desenvolvidas em outros continentes. Neste trabalho, será abordada a possibilidade de geração de energia elétrica utilizando o biogás gerado pelos resíduos sólidos urbanos da cidade de Jundiaí-SP e uma análise econômica de todo o sistema. A metodologia a ser empregada consta do convênio firmado entre a Prefeitura de Jundiaí e o governo Alemão, com adaptações do autor, levando em conta a norma DIN 38414-8 (1985-06). Os resultados obtidos permitem vislumbrar um bom potencial para a geração de biogás, mostrando uma renda de R\$168.295.295,76 (cento e sessenta e oito milhões, duzentos e noventa e cinco mil, duzentos e noventa e cinco reais e setenta e seis centavos) por ano para a cidade de Jundiaí.

Palavra-chave: Biogás, Lei Federal 12.305/2010, energias renováveis e resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT

With the increase in the population of Brazilian cities and the irregular disposal of solid urban waste, it was necessary to create guidelines for the implementation of a solid waste management in the municipalities. Thus, Federal Law 12,305 / 2010, which established guidelines and showed ways for a responsible management of urban solid waste, was introduced. Linked to this, there is also a quest to make renewable energies and alternative sources of fuel viable, such as biogas generated through municipal solid waste. There is a promising market for new waste treatment technologies, as well as an increase in the search for greater knowledge of this new market that starts in the country, by public and private managers, in order to consolidate and nationalize techniques developed in other continents. In this work, the possibility of electric power generation using the biogas generated by solid urban waste in the city of Jundiaí-SP and an economic analysis of the whole system will be discussed. The methodology to be used is the agreement between the City of Jundiaí and the German government, with the author's adaptations, taking into account the standard DIN 38414-8 (1985-06). The results show a good potential for the generation of biogas, showing a revenue of one hundred sixty-eight million, two hundred and ninety-five thousand, two hundred and ninety-five reais and seventy-six cents (R \$ 168,295,295.76) per year for the city of Jundiaí.

Key words: Biogas, Federal Law 12,305 / 2010, renewable energy and solid urban waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Representação da hierarquização dos resíduos sólidos..... | 22 |
| Figura 2 - Geração de RSU..... | 24 |
| Figura 3 - Etapas da digestão anaeróbia..... | 33 |
| Figura 4 - Tecnologia DRANKO..... | 34 |
| Figura 5 - Imagem do reator Kopogas..... | 36 |
| Figura 6 - Modelo esquemático de usina com tecnologia Kompogas..... | 36 |
| Figura 7 - Modelo esquemático de usina com tecnologia Kompoferm..... | 38 |
| Figura 8 - Imagens dos túneis de digestão anaeróbia..... | 38 |
| Figura 9 - Modelo esquemático da usina Bekon..... | 39 |
| Figura 10 - Sistema de abertura dos túneis de metanização..... | 39 |
| Figura 11 - Modelo esquemático da usina BIOferm..... | 40 |
| Figura 12 - Fluxo do sistema de remoção do sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)..... | 43 |
| Figura 13 - Mapa de localização do Município de Jundiaí..... | 45 |
| Figura 14 - Classificação dos resíduos sólidos urbanos de Jundiaí..... | 46 |
| Figura 15 - Imagem da vidraria utilizada no ensaio..... | 49 |
| Figura 16 - Imagem do equipamento de banho maria utilizado no ensaio..... | 49 |
| Figura 17 - Imagem do ensaio em operação..... | 50 |
| Figura 18 - Imagem do procedimento de rasga saco..... | 53 |
| Figura 19 - Imagem da peneira de resíduos sólidos..... | 54 |
| Figura 20 - Imagem do resíduo peneirado..... | 54 |
| Figura 21 - Localização dos bairros e divisão por regiões..... | 56 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|---|----|
| Eq. 1 – Média de biogás..... | 50 |
| Eq. 2 – Média de geração de biogás do Município de Jundiaí..... | 50 |
| Eq. 3 – Quantidade de resíduos..... | 51 |
| Eq. 4 – Geração total..... | 51 |
| Eq. 5 – Energia..... | 51 |
| Eq. 6 – Fator de recuperação de capital..... | 51 |
| Eq. 7 – Custo de energia gerada..... | 52 |
| Eq. 8 – Custo de investimento máximo..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Quantidade de produção e volume energético..... | 35 |
| Tabela 2 - Valores do sistema construtivo e custo de produção..... | 35 |
| Tabela 3 - Quantidade de produção e volume energético..... | 37 |
| Tabela 4 - Vantagens e desvantagens de cada tipo de tecnologia..... | 40 |
| Tabela 5 - Resultados do teste de geração de biogás..... | 55 |
| Tabela 6 - Discriminação do custo de implantação da usina..... | 65 |
| Tabela 7 - Resumo de valores..... | 67 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Resultados para o bairro da Malota..... | 57 |
| Gráfico 2 - Resultados para o bairro Jundiaí Mirim..... | 58 |
| Gráfico 3 - Resultados para o bairro Santa Gertrudes..... | 58 |
| Gráfico 4 - Resultados para o bairro São Camilo..... | 59 |
| Gráfico 5 - Resultados para o bairro Champirra..... | 60 |
| Gráfico 6 - Resultados para o bairro Fazenda Grande..... | 60 |
| Gráfico 7 - Resultados para o bairro Morada das Vinhas..... | 61 |
| Gráfico 8 - Resultados para o bairro Jardim Paulista..... | 62 |
| Gráfico 9 - Resultados para o bairro Vila Maringá..... | 62 |

ANEXOS

| | |
|---|----|
| Planilha 1 - Informações iniciais..... | 78 |
| Planilha 2 - Acompanhamento diário..... | 79 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CDR | Combustível Derivado de Resíduo |
| CReED | <i>Center for Research, Education and Demonstration in Waste Management</i> |
| DBFZ | <i>Deutsches Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> |
| DIN | <i>Deutsches Institut Für Normung</i> |
| GIZ | <i>Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1.0 INTRODUÇÃO | 17 |
| 2.0 OBJETIVOS | 19 |
| 2.1 Objetivos específicos..... | 19 |
| 3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 20 |
| 3.1 Resíduos sólidos..... | 20 |
| 3.2 Resíduos sólidos urbanos..... | 22 |
| 3.3 Impactos sociais, ambientais e econômicos dos resíduos sólidos urbanos..... | 24 |
| 3.4 Coleta, disposição e tratamento de resíduos sólidos urbanos..... | 26 |
| 3.5 Geração de biogás..... | 30 |
| 3.6 Equipamentos para geração de biogás..... | 34 |
| 3.6.1.1 Processos contínuos de geração de biogás..... | 34 |
| 3.6.1.1.1 Tecnologia Dranko..... | 34 |
| 3.6.1.1.2 Tecnologia Axpo Kompogas..... | 35 |
| 3.6.1.2 Processos descontínuos de geração de biogás..... | 37 |
| 3.6.1.2.1 Tecnologia Kompoferm Plus..... | 37 |
| 3.6.1.2.2 Tecnologia Bekon Dry Cicle Fermenter..... | 38 |
| 3.6.1.2.3 Tecnologia BIOferm System..... | 39 |
| 3.6.2 Remoção de impurezas do biogás..... | 42 |
| 3.6.3 Geradores de energia elétrica a base de biogás..... | 43 |
| 3.7 Mercado do biogás..... | 44 |
| 4.0 METODOLOGIA | 45 |
| 4.1 Caracterização da área de estudo..... | 45 |
| 4.2 Ensaio de geração de biogás..... | 46 |
| 4.2.1 Retirada das amostras..... | 46 |
| 4.2.2 GB21 (Generation of Biogas in 21 days)..... | 47 |
| 5.0 RESULTADOS | 53 |
| 5.1 Retirada das amostras..... | 53 |

| | |
|--|----|
| 5.2 Geração de biogás (GB21) | 54 |
| 5.3 Síntese dos resultados econômicos | 67 |
| 6.0 CONCLUSÃO | 68 |
| 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 71 |
| ANEXOS | 77 |

1.0 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento populacional e ao aumento do consumo de bens materiais nas cidades, verificou-se a necessidade da criação de diretrizes para o descarte de resíduos, que ocorre quando o produto adquirido encerra a sua vida útil.

No Brasil, foi promulgada em agosto de 2010 a Lei Federal nº 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que trouxe diversas diretrizes para a adequação da gestão de resíduos sólidos, auxiliando os gestores públicos e privados no correto gerenciamento dessa cadeia produtiva (BRASIL, 2010).

Com isso, os resíduos, além de ter valor de mercado, trouxeram também uma opção digna de trabalho para catadores e cooperativas, uma vez que em seu texto a Lei incentiva o trabalho desses profissionais.

A lei também incentiva a não geração, a redução, reutilização e a reciclagem desses resíduos, prevendo a disposição em aterro sanitário apenas do rejeito, material que não possui mais possibilidades de ser reutilizado. Além disso, menciona sobre a criação e utilização de tecnologias para o tratamento desses resíduos (BRASIL, 2010).

Isso tudo abriu possibilidades aos gestores de resíduos sólidos, do setor público e do setor privado, de reduzir custos de operação, diminuir a degradação ambiental e a produzir energia com esses materiais.

Sendo assim, em 2013, o governo brasileiro criou uma parceria técnica com o governo alemão para capacitação profissional e apoio para “tropicalização” de tecnologias para tratamento de resíduos sólidos. Esse projeto foi chamado de “Cooperação Técnica Brasil-Alemanha”, sendo que essa cooperação originou outros projetos, tais como o Probiogás e o Projeto Novas Parcerias Integradas (FRICKE et al, 2015).

Alinhado com as ações do governo federal, o município de Jundiaí, localizado no interior de São Paulo, visando fazer valer o que diz a Lei Federal nº 12.305, decidiu buscar conhecimento e capacitação com o governo alemão, uma vez que a Alemanha é referência mundial no tratamento de resíduos sólidos.

Jundiaí, por estar localizada em um ponto estratégico dentro do estado de São Paulo, próxima da capital e cortada pelas duas principais rodovias do país, Rodovia Anhaguera e Rodovia dos Bandeirantes, possui características positivas para a implantação de novas tecnologias e seus gestores decidiram inscrever o município em projetos nessa área.

Com isso, o município de Jundiaí participou do Projeto I-NoPa em parceria com o *Center for Research, Education and Demonstration in Waste Management (CREeD)*, *Technische Universität Braunschweig*, *Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*, a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e o *Deutsches Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (DBFZ)*, promovendo a capacitação de agentes públicos na gestão de resíduos sólidos urbanos (FRICKE et al, 2015).

Como parte deste projeto, foi feita a implantação de um laboratório modelo para análises de resíduos sólidos, bem como a instalação de duas tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos, transformando Jundiaí em referência nacional nessa área (FRICKE et al, 2015).

Desde então, Jundiaí vem disseminando o conhecimento adquirido junto ao governo alemão com outros municípios brasileiros, promovendo o interesse de outros gestores em realizar uma gestão adequada dos resíduos sólidos.

Durante o desenvolvimento desse projeto, verificaram-se inúmeros exemplos e possibilidades de aplicação para os resíduos sólidos e a exploração de subprodutos provenientes dos resíduos, sendo alguns desses subprodutos o biogás, o composto orgânico e o combustível derivado de resíduo (CDR).

2.0 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade da geração de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos na cidade de Jundiaí – SP, através de testes em laboratório, bem como avaliar a geração de energia utilizando o biogás gerado.

2.1 Objetivos específicos

- Discutir o estado da arte do uso dos resíduos sólidos para geração de biogás, no Brasil e no mundo.
- Realizar ensaio de geração de biogás conforme adaptação da norma DIN 38414-8 (1985-06).
- Avaliar a possibilidade de geração de energia, utilizando o biogás gerado e possíveis retornos financeiros.

3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos sólidos

A Lei nº 12.305, de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no Art 3º, parágrafo XVI, define Resíduos Sólidos como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Já a ABNT NBR 10004 define Resíduos Sólidos como:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição” (ABNT, 2004).

Além disso, a Lei nº 12.305, no Art 13º, classifica os resíduos sólidos:

“I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;*
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;*
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;*

d) *resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;*

e) *resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;*

f) *resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;*

g) *resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;*

h) *resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;*

i) *resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;*

j) *resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;*

k) *resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;*

II - quanto à periculosidade:

a) *resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;*

b) *resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.* (BRASIL, 2010).

O termo resíduo sólido deriva do latim “residuu” e significa sobra de substâncias, acrescido de sólido para se diferenciar de resíduos líquidos ou gasosos (LOURENÇO; BARBOSA; ROCHA, 2015).

A Lei 12.305 define, também, em seu Art 3º, parágrafo XV, o que é considerado rejeito:

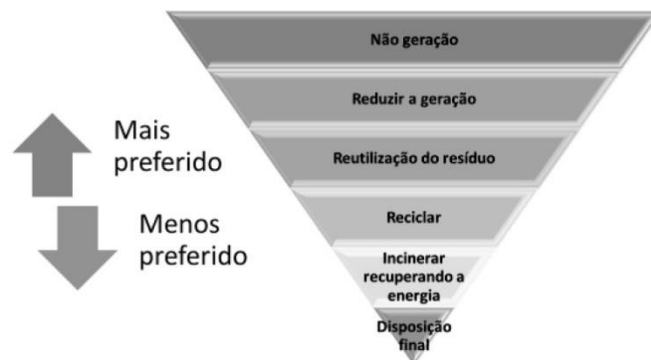
“Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por

processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).”

Em seu Art. 4º é mencionado que a Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Na Figura 1, pode-se verificar uma representação da hierarquização dos resíduos sólidos com relação aos procedimentos de tratamento.

Figura 1 – Representação da hierarquização dos resíduos sólidos.



Fonte: DERMIBAS, 2011.

3.2 Resíduos sólidos urbanos

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) trazem uma discussão ambiental em alto crescimento, hoje em dia. Os problemas relacionados aos resíduos sólidos urbanos, consistem na sua grande geração, na tipologia dos materiais que serão descartados, na falta de locais corretos para seu armazenamento e destino final (LEME, 2009).

O aumento do descarte dos resíduos sólidos urbanos vem trazendo preocupações para as empresas e órgãos de limpeza pública nas cidades

brasileiras, principalmente no que diz respeito à coleta e destinação final (FILHO *et al*, 2014).

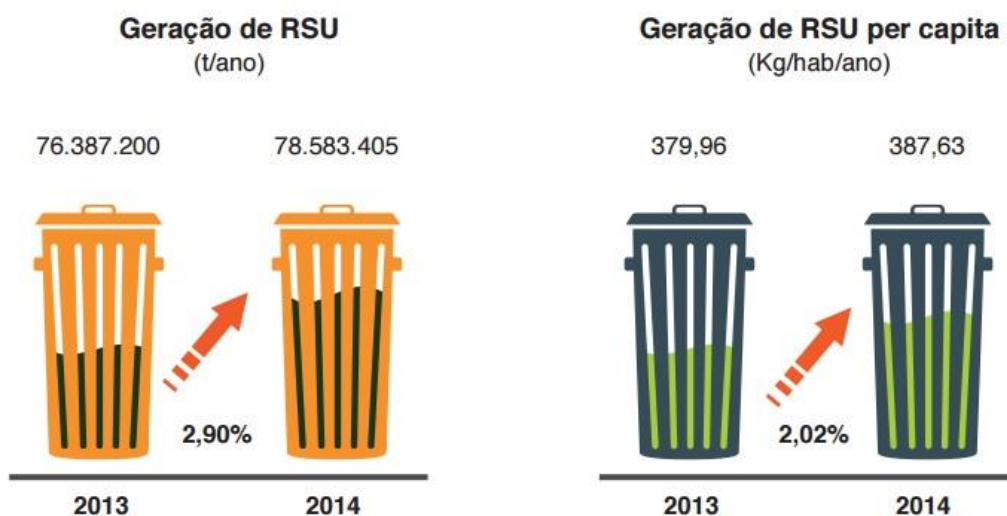
Partindo do pressuposto de que a geração de RSU é ininterrupta, pois o consumo de produtos pela população é ininterrupto, o mercado vem exigindo uma gestão melhor que vise conscientizar a manipulação e o destino final em todas as esferas. Com isso, surgiu a possibilidade de colocar em prática operações incentivando a separação dos resíduos, os serviços de coleta seletiva e reciclagem, valorizando os resíduos descartados e reduzindo a quantidade encaminhada para o aterro sanitário (FILHO *et al*, 2014).

Segundo o panorama de resíduos sólidos da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014) e os termos da Lei Federal nº 12.305 de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos sólidos urbanos são definidos como sendo aqueles das atividades domésticas residenciais, bem como os resíduos do serviço de limpeza pública como varrição, poda, roçada, entre outros serviços.

Verificando a composição dos RSU nos municípios brasileiros, 50% em média é constituído de materiais orgânicos, os outros 50% é constituído de materiais recicláveis, como embalagens, vidros, plásticos, papel e papelão, resíduos minerais, como areia, solo e rochas e rejeitos (FILHO *et al*, 2014).

Em 2014, houve uma geração de RSU de 78,6 milhões de toneladas no Brasil. Comparando com o ano anterior, ocorreu um acréscimo de 2,9%, valor maior do que o crescimento populacional no mesmo período, que foi de 0,9%, isso mostra que o consumo vem crescendo, gerando um descarte cada vez maior. As informações de geração de resíduos de 2014 em comparação com 2013 estão apresentadas na Figura 2 (ABRELPE, 2014).

Figura 2 – Geração de RSU.



Fonte: ABRELPE, 2014.

A incorreta gestão de resíduos sólidos vem causando grandes impactos no meio ambiente e na saúde pública e contribuindo para alterações no clima. Tendo em vista as falhas na destinação final dos resíduos sólidos, é de grande importância criar ferramentas para diminuir as quantidades geradas e fomentar a redução, o reuso e a reciclagem (GOUVEIA, 2012).

3.3 Impactos sociais, ambientais e econômicos dos resíduos sólidos urbanos

Atualmente, os resíduos sólidos urbanos vêm tornando-se um grande desafio para gestores públicos e privados. Com o grande crescimento populacional, houve a necessidade do aumento da produção de bens de consumo e serviços. Conseqüentemente, isso vem acarretando uma enorme geração de resíduos, impactando na saúde pública e no meio ambiente se forem dispostos em locais inapropriados ou se não forem coletados (DEUS; LUCA; CLARKE, 2004).

Pensando na redução e prevenção dos impactos negativos à saúde pública e ao meio ambiente, é necessário adequar a gestão das áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos. A busca por novas tecnologias tem a premissa de recuperar ambientalmente e socialmente os locais de disposição

inapropriados. Novos métodos vêm sendo desenvolvidos para a recuperação dessas áreas, estabilização dos resíduos, encerramento dos lixões e aumento da capacidade de armazenagem dos aterros sanitários (ALBERTE; CARNEIRO; KAN, 2005).

Com o uso de novas tecnologias, elementos sintéticos estão presentes nos resíduos, sendo que esses elementos podem ser nocivos ao meio ambiente e à saúde pública (GOUVEIA, 2012).

Porém, grande parte dos resíduos que são produzidos diariamente, são descartados inadequadamente, geralmente em lixões, em sua constituição possuem frações de pesticidas, metais pesados, solventes e compostos orgânicos voláteis e com isso impactam de forma negativa na qualidade do ar, do solo e da água (GOUVEIA, 2012).

Com a decomposição da fração orgânica dos resíduos, é formado um líquido com coloração escura e que é denominado de chorume. Esse líquido carrega contaminantes e pode vir a atingir o lençol freático, bem como águas de escoamentos superficiais e também o solo. Além disso, quando em locais confinados, pode gerar gases que são tóxicos e muitas vezes passíveis de combustão e explosão, sendo que tais gases, geralmente, ficam acumulados no subsolo ou são lançados na atmosfera (GOUVEIA, 2012).

A alta produção de resíduos sólidos urbanos está associada à utilização desenfreada de recursos naturais, colocando em risco a capacidade de recuperação natural do planeta, porém com atitudes individuais e comunitárias é possível reverter a situação (JACOBI; BENSON, 2006).

Nos países em desenvolvimento, bem como no Brasil, além das questões ambientais, existem outros problemas associados à má gestão dos resíduos sólidos urbanos, como por exemplo, a emissão de gases do efeito estufa, que tendem a agravar as questões climáticas e problemas vinculados com a proliferação de vetores que causam doenças (GODECKE; NAIME; FIGUEIREDO, 2012).

Os resíduos sólidos urbanos podem resultar sérios problemas para a saúde pública quando são mal geridos. Por outro lado, com ele é possível gerar trabalho e renda desde que sejam separados corretamente. Com isso, diminui-se os impactos ambientais e na saúde pública, além de diminuir a degradação

dos recursos naturais. Porém, devido à falta de recursos e incentivos financeiros as iniciativas de reciclagem ainda são muito reduzidas no país. Além disso, a indústria de transformação de materiais é muito escassa (BUQUE, 2015).

Nos países da América Latina, a organização de grupos de catadores, associações e cooperativas de reciclagem, conseguiu abrir uma interlocução com o poder público, em especial o municipal, para, assim, gerar recursos e empregos para uma classe antes socialmente segregada (BESEN, 2014).

No Brasil, pode-se considerar os catadores de recicláveis como principais atores da reciclagem no país, tendo posição de destaque na gestão de resíduos sólidos, realizando um trabalho de excelência na área do meio ambiente, mesmo antes da promulgação de leis. Além disso, a existência desse profissional indica a grande dificuldade que esse tema exige do poder público (GOUVEIA, 2012).

Nessa questão, a PNRS traz como um de seus objetivos:

“Art. 7o São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos: XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010)”.

Quando se trata de resíduos sólidos urbanos, não se pode deixar de lado a questão da saúde pública, uma vez que nos aterros sanitários é possível ter um grande nível de emissões atmosféricas, compostos orgânicos voláteis e metais pesados. Assim, nas comunidades próximas desses locais, as pessoas, podem vir a apresentar problemas de saúde. Quando incinerados os resíduos também trazem risco à saúde pública, podendo causar diversos tipos de doenças pulmonares, bem como problemas na gestação (GOUVEIA, 2012).

3.4 Coleta, disposição e tratamento de resíduos sólidos urbanos

A crescente geração de resíduos traz a necessidade de capacitação dos agentes públicos, agentes privados e até mesmo da sociedade, além de grandes esforços para buscar melhores soluções para resolver os problemas

oriundos dos resíduos sólidos urbanos, além dos problemas ambientais causados nesse mercado (GOMES e STEINBRÜCK, 2012).

A agravante condição brasileira no quesito do tratamento de resíduos sólidos é causada, principalmente, por dois fatores - a falta de preparo e interesse das gestões públicas e privadas e a falta de conhecimento por parte da população para cobrar por melhores práticas nessa área (MARCHEZETTI; KAVISKI; BRAGA, 2011).

No Art. 7º da PNRS diz que:

“II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010)”.

Diz ainda que:

“XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010)”.

Com relação à coleta seletiva, é importante citar que, segundo a PNRS, em seu §1º do art. 18, todos os municípios que optarem por serviços de coleta seletiva, utilizando-se de cooperativas de catadores e pessoas físicas de baixa renda, serão priorizados na obtenção de recursos do governo federal. Sendo assim, no art. 35, é facilitado o incentivo à coleta seletiva, sendo obrigação do município implementar o sistema dentro do plano municipal de resíduos sólidos urbanos (BAPTISTA, 2015).

O poder público poderá ofertar incentivos fiscais para os consumidores que aderirem ao sistema de coleta seletiva, conforme previsto no art. 42 da PNRS. Além disso, através de benefícios econômicos, o governo poderá incentivar linhas de financiamento para a estruturação de sistemas de coleta seletiva, prevalecendo a parceria com cooperativas e incluindo todos os atores envolvidos (BAPTISTA, 2015).

A reciclagem, além de ser uma das opções de tratamento de resíduos indicada pela PNRS, assume um importante papel na diminuição da degradação dos recursos naturais, ao diminuir os problemas relacionados aos recursos hídricos, a conservação de energia e na recuperação de materiais descartados. Além disso, torna-se uma opção de renda para catadores, criando empregos e recursos financeiros, levando insumos para diversas e importantes cadeias industriais (WALDMAN, 2013).

Dos resíduos sólidos urbanos, os que têm relativa importância para a reciclagem são os metais ferrosos e não ferrosos e as diversas variedades de plásticos, bem como vidro, papel e papelão. Por se tratarem de matérias mais nobres, os metais acabam chegando em pequenas quantidades nas estações de triagem, uma vez que catadores autônomos acabam pegando esses materiais antes da coleta seletiva, criando assim um sistema independente de recuperação de resíduos (NAIME; ABREU, 2010).

Outro sistema de tratamento de resíduos é a compostagem, trata-se de um processo de decomposição da fração orgânica onde são controlados a umidade, temperatura e as condições aeróbias, obtendo-se um produto que é denominado de composto. Dentro dos resíduos sólidos urbanos, há uma grande variação de resíduos orgânicos e nem todos são passíveis de serem compostados, como por exemplo madeiras tratadas, couro e borracha (SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

Apesar de ter pouca representatividade, a compostagem é um sistema de tratamento de resíduos relativamente barato e tecnicamente simples de ser realizado. Estima-se que, no Brasil, 50% dos resíduos sólidos urbanos são compostos de matéria orgânica, tornando a compostagem um sistema atrativo, pois ao se associar a compostagem a um sistema de triagem de recicláveis é possível agregar valor aos resíduos, efetuando a venda de recicláveis e composto orgânico (CAPRARA; REICHERT, 2015).

Na versão preliminar da PNRS, ficou estabelecido, para a região sudeste, reduzir a quantidade de resíduos orgânicos dispostos em aterros sanitários em 25%, visando para estimular a compostagem. Além disso, menciona a possibilidade da implantação de coleta seletiva de orgânicos, compostagem descentralizada, compostagem domiciliar, implantação de hortas

escolares e utilização de composto na agricultura urbana, além de prever incentivo aos grandes geradores (SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

O RSU, por possuir grande quantidade de matéria orgânica, possibilita a utilização do sistema de tratamento por compostagem. É possível realizar o processo nas áreas dos aterros sanitários, trazendo possibilidades de diminuição da parcela orgânica no aterro, diminuindo emissão de gases poluentes para a atmosfera e reduzindo a quantidade de chorume, torna-se também fonte alternativa de renda para cooperados (GOMES et al, 2013).

Atualmente, com a grande gama de alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos, tais como incineração, incineração com aproveitamento energético, reciclagem, compostagem, digestão anaeróbia e tratamento mecânico biológico; a tomada de decisão por uma escolha acaba se tornando uma problemática, uma vez que os gestores públicos e privados brasileiros ainda carecem em capacitação nessa área, tornando-se assim uma tarefa complexa para os tomadores de decisão (LIMA et al, 2014).

Com a implementação do tratamento mecânico biológico e o encerramento das atividades de antigos aterros, bem como a proibição da disposição de matéria orgânica sem tratamento, em 2005 na Alemanha, observou-se que os rejeitos do sistema mecânico biológico tinham poder para geração de energia, possibilitando a utilização na indústria, principalmente a indústria de fabricação de cimento (BRIESE; GATENA; ESPER, 2015).

Pensando nisso, existem áreas industriais que dependem muito de recursos energéticos, sendo que os resíduos acabam chamando a atenção dessas empresas. A partir da implementação desses conceitos, a indústria cimenteira vem incorporando resíduos como forma de geração de energia, substituindo o carvão ou o coque de petróleo, sendo que a queima de resíduos selecionados denominado combustível derivado de resíduos (CDR), não diminui a qualidade do produto e nem aumenta os problemas já causados ao meio ambiente através do método tradicional com emissões atmosféricas. Esse combustível alternativo vem sendo utilizado com maior frequência (BAIER, 2015).

Além da reciclagem, compostagem e do CDR, a digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, também torna-se uma tecnologia

atrativa para geração de biogás e conseqüentemente energia renovável, pois diminui a utilização de combustíveis fósseis e a emissão de gases que prejudiquem a proteção climática, além de ser uma alternativa para o tratamento de resíduos sólidos (LEITE et al., 2014).

Existem, atualmente, várias formas de se obter o biogás, porém no momento não existe normas e diretrizes, no Brasil, que abordem um sistema de avaliação e quantificação da emissão do biogás, principalmente em aterros sanitários, porém é possível obter-se benefícios energéticos e ambientais, utilizando o biogás e deixando de emitir para a atmosfera (SILVA; JÚNIOR; ROCHA, 2016).

3.5 Geração de biogás

O químico Shirley em 1667 descobriu o biogás que é composto principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), 100 anos depois, foi descoberto pelo químico Volta que os gases emitidos em pântanos possuíam metano (CH_4) e no século XIX o químico Ulysse Gayon criou um fermentador para gerar biogás com uma mistura de água à 35° e estrume de animais (CETESB, 2018).

Na literatura, obteve vários nomes, entre eles, gás de biodigestor, gás do pântano, gás da fermentação, gás de aterro, porém todos obtinham a mesma composição e, portanto, foram chamados de biogás (CETESB, 2018).

Por serem legislações recentes, as que regulam a utilização dos resíduos sólidos urbanos para geração de energia, bem como a própria legislação de resíduos sólidos, muito ainda deve ser aperfeiçoado, porém isso se trata de uma opção e oportunidade para a diminuição da quantidade de resíduos nos centros urbanos brasileiros, assim como uma fonte alternativa para a matriz energética do país (GALIZA; CAMPOS, 2015).

Devido à quantidade de matéria orgânica disposta em aterros sanitários, a quantidade de emissões atmosféricas de gases poluentes é descontrolada, causando problemas ambientais locais e mundiais. Pensando localmente, isso pode trazer problemas simples como o mal cheiro ou até mesmo problemas

sérios de saúde pública, causando impactos ambientais, econômicos e sociais significativos.

O biogás é formado, principalmente, por metano (CH₄), gás carbônico (CO₂) e gás sulfídrico (H₂S), que trazem sérios problemas no tocante a proteção climática (COSTA; BARROS; FALCÃO, 2015).

A produção de biogás é resultado de ação de bactérias anaeróbias, e, em sua grande parte, consiste em metano que possui alto poder calorífico. Sendo assim, o metano pode ser obtido através da digestão anaeróbia da matéria orgânica presente em estações de tratamento de esgoto, resíduos sólidos urbanos, usinas de cana e destilarias, atividade de pecuária e de agricultura, sendo um processo para reduzir a quantidade desses resíduos (COUTINHO et al, 2011).

Sabendo disso, o governo federal criou, em 2014, o programa PROBIOGÁS, que tem o objetivo de ampliar o uso energético eficiente do biogás em saneamento básico e em iniciativas agropecuárias e agroindustriais, visando inserir o biogás e o biometano na matriz energética nacional e, por conseguinte, contribuir para a redução de emissões de gases indutores do efeito estufa. Além disso, busca capacitar profissionais brasileiros em diversos níveis, contemplando atores que integram a cadeia de biogás, visando fortalecer o mercado no Brasil (PROBIOGÁS, 2015).

O programa também define o biogás da seguinte forma:

“Mas afinal, o que é o biogás? É uma fonte de energia renovável que se apresenta como ótima alternativa para o mercado nacional. Todo resíduo orgânico, como os restos de comida, frutas e vegetais, resíduos industriais de origem animal e vegetal e esterco animal, sofre ações de bactérias que decompõem estes materiais e geram gases, principalmente dióxido de carbono e metano, que quando não aproveitados, são liberados no meio ambiente, contribuindo para o aumento das taxas de emissão de gases indutores do efeito estufa. Esta decomposição pode ser realizada de maneira controlada, possibilitando a geração de energia, por meio do aproveitamento do metano, presente em grandes concentrações no biogás. É a partir da geração de energia proveniente dos processos de biodegradação de compostos orgânicos que o biogás possibilita um retorno positivo para o setor saneamento

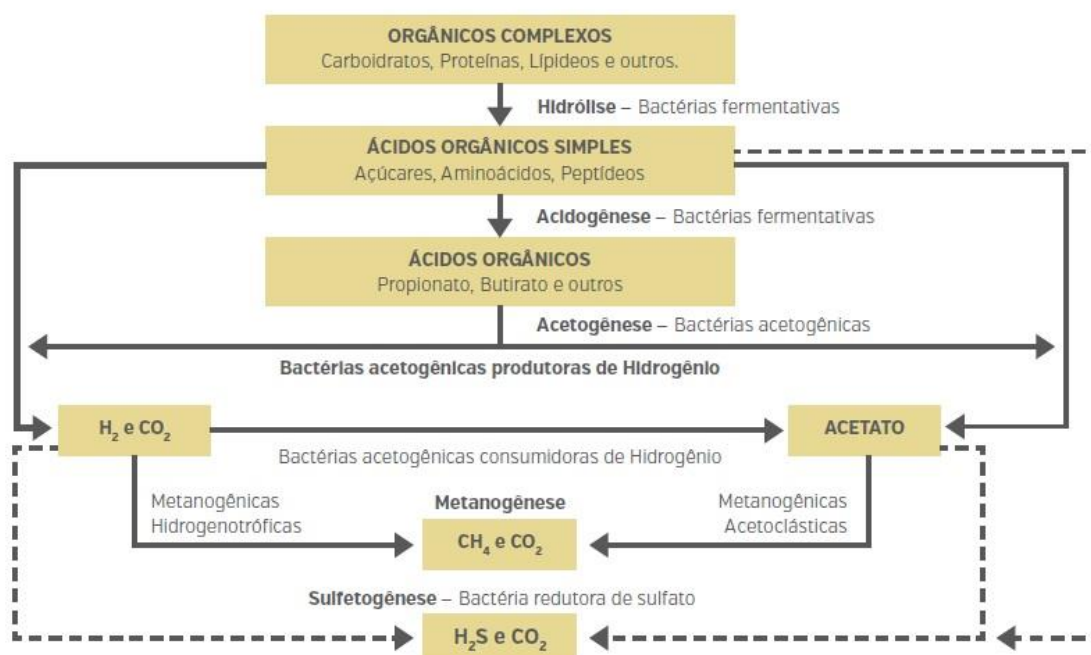
básico no Brasil, bem como a redução de custos no setor agropecuário e da agroindústria, contribuindo para a redução do efeito estufa (PROBIOGÁS, 2015).”

A digestão anaeróbia passa por 5 etapas, a saber: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sulfetogênese, sendo a fase inicial a hidrólise que tem por objetivo transformar os materiais mais complexos, na sua grande parte os polímeros em compostos solúveis de menor massa molar, o que ocorre por enzimas emanadas por bactérias (PROBIOGÁS, 2015).

Na etapa seguinte, os compostos gerados através da hidrólise são metabolizados, transformando-se em ácidos graxos voláteis. Já na acetogênese, os ácidos graxos formados na etapa anterior, são transformados em substâncias que formam material propício para as bactérias metanogênicas. Continuando o processo, as bactérias transformam a matéria orgânica em biogás e, por fim, na última etapa as bactérias irão reduzir os compostos sulfurosos, sendo que essa etapa tende a ocorrer quando a formação de sulfatos é muito grande, o que pode ser prejudicial para a formação do biogás. (PROBIOGÁS, 2015).

Na Figura 3, apresenta-se o processo completo.

Figura 3: Etapas da digestão anaeróbia.



Fonte: PROBIOGÁS, 2015.

A geração de biogás, tanto de resíduos sólidos urbanos como da fração orgânica proveniente da coleta seletiva de orgânicos, é um tratamento que, com ou sem a separação da fração orgânica coletada do município, oferece a possibilidade de redução de impactos ambientais devido a diminuição das emissões provenientes dos aterros sanitários, além de ser uma valiosa fonte de produção de energia a partir de frações úmidas dos resíduos. A digestão anaeróbia requer a integração de conceitos de gestão dos resíduos locais e uma clara ideia de onde se quer chegar e qual o procedimento a ser seguido para que se atinjam os objetivos (SCHNEIDER; BEYWINKLER, 2015).

Para a geração de biogás, é necessária a utilização de tecnologias de biodigestão. Para o caso dos resíduos sólidos urbanos, existem dois processos, o processo contínuo e o descontínuo. O biodigestor contínuo trabalha com frações com teor de umidade entre 25% a 35% podendo ser horizontais com misturadores e verticais utilizando a gravidade. Nesse caso, eles são alimentados a todo tempo. Já o processo descontínuo trabalha com umidade do resíduo entre 35% a 45%, são grandes garagens onde são abastecidas por bateladas, geralmente, a cada 21 dias (PROBIOGÁS, 2015).

3.6 Equipamentos para geração de biogás

3.6.1.1 Processos contínuos de geração de biogás

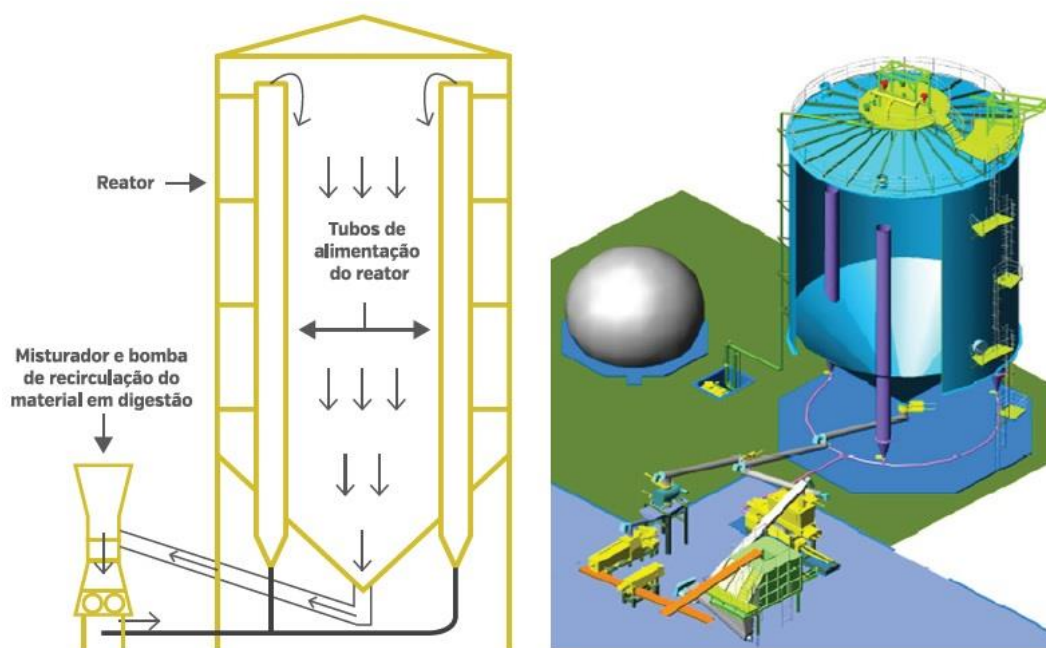
A seguir são apresentadas tecnologias de processos contínuos de geração de biogás.

3.6.1.1.1 Tecnologia Dranko

É uma tecnologia Belga criada pela empresa Organic Waste Systems (OWS). Seu primeiro reator foi construído em escala piloto na cidade de Gent, Bélgica, em 1984, sendo que, posteriormente, na cidade de Brecht, Bélgica, em 1992, foi construído em escala industrial (OWS, 2017).

Trata-se de um sistema termofílico de formato cilíndrico, que pode ser de concreto ou metálico, fluxo contínuo, vertical de estágio único, alimentado uma vez ao dia e pode gerar de 80 a 120 Nm³ (Normal metros cúbicos) de biogás por tonelada de resíduos. Na Figura 4, é apresentado o esquema funcional da tecnologia (PROBIOGÁS, 2015).

Figura 4: Tecnologia DRANKO.



Fonte: PROBIOGÁS, 2015.

A Tabela 1 mostra a quantidade de produção e o volume energético de duas plantas instaladas com essa tecnologia. Já a Tabela 2 apresenta valores referentes ao sistema construtivo das instalações das usinas e o custo de produção.

Tabela 1: Quantidade de produção e volume energético.

| USINA | CAPACIDADE | PRODUÇÃO DE BIOGÁS | GERAÇÃO DE ENERGIA | ENERGIA CONSUMIDA PELA PLANTA | ENERGIA EXCEDENTE | % ENERGIA EXCEDENTE |
|--------------------------|--------------|----------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| Kaiserslautern, Alemanha | 20.000 t/ano | 53 m ³ /t | 5,2 GWh/ano | 0,7 GWh/ano | 4,5 GWh/ano | 86,60% |
| Aaberg, Suíça | 11.000 t/ano | Não informado | Não informado | 0,52 GWh/ano (elétrica) | 2,4 GWh/ano (elétrica) | 78,30% |
| | | | | 0,72 GWh/ano (calor) | 0,4 GWh/ano (calor) | 35,70% |

Fonte: GOMES, 2010.

Tabela 2: Valores do sistema construtivo e custo de produção.

| PARÂMETRO | UNIDADE | CAPACIDADE (t/ano) | | | | |
|--------------------------|----------------|--------------------|--------|--------|--------|---------|
| | | 5.000 | 10.000 | 25.000 | 50.000 | 100.000 |
| Investimento | Milhões de € | 9 | 2 | 5 | 20 | 30 |
| | €/kg | 657 | 438 | 219 | 146 | 110 |
| Custos operacionais | €/t | 40 | 20 | 17 | 13 | 10 |
| Requerimento de área | m ² | 3.000 | 4.000 | 7.000 | 10.000 | 15.000 |
| Produção de eletricidade | kWh/t | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 |
| Eletricidade excedente | kWh/t | 140 | 140 | 145 | 150 | 150 |
| % Eletricidade excedente | % | 62% | 62% | 64% | 67% | 67% |
| Produção de calor | kWh/t | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Calor excedente | kWh/t | 270 | 270 | 270 | 270 | 270 |
| % Calor excedente | % | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% |

Fonte: GOMES, 2010.

3.6.1.1.2 Tecnologia Axpo Kompogas

O sistema de digestão anaeróbia Kompogas é de propriedade da empresa Axpo e licenciado pela empresa Küttner da Alemanha. Teve seu primeiro reator instalado em 1989, numa escala piloto, em Rümlang Suíça, sendo construído em 1994 o primeiro reator em escala industrial, também na Suíça na cidade de Bachenbülach (SCHMID, 2008).

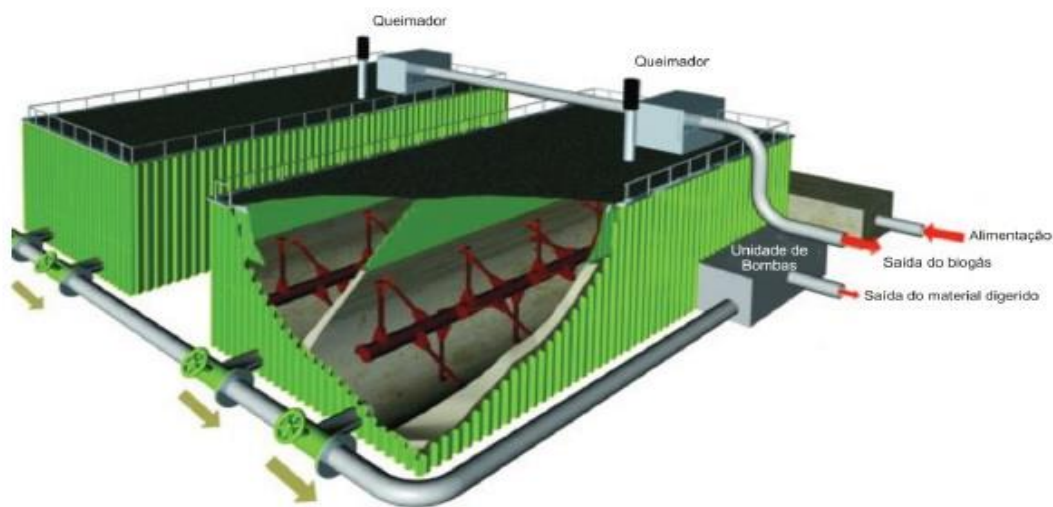
Trata-se de um reator de um único estágio, sendo alimentado por um pistão. Tem dimensão retangular e o fundo cilíndrico ou totalmente cilíndrico e pode ser metálico ou construído com concreto, conforme mostra a Figura 5. Já na Figura 6 tem-se um modelo esquemático desse tipo de usina. A Tabela 3 mostra a quantidade de produção e o volume energético de uma usina instalada com essa tecnologia e os valores de uma unidade modelo (PROBIOGÁS, 2015).

Figura 5: Imagem do reator Kopogas.



Fonte: BARCO, 2007.

Figura 6: Modelo esquemático de usina com tecnologia Kompogas.



Fonte: PROBIOGAS, 2015.

Tabela 3: Quantidade de produção e volume energético.

| USINA | CAPACIDADE | PRODUÇÃO DE BIOGÁS | GERAÇÃO DE ENERGIA | ENERGIA CONSUMIDA PELA PLANTA | ENERGIA EXCEDENTE | % ENERGIA EXCEDENTE |
|--------------------|--------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------|
| Passau Hellersberg | 39.000 t/ano | 115 m ³ /t | 9,1 GWh/ano | 1,6 GWh/ano | 7,5 GWh/ano | 78,70% |
| Unidade Modelo | 10.000 t/ano | 105 m ³ /t | 2,1 GWh/ano | 0,3 GWh/ano | 1,8 GWh/ano | 83,30% |

Fonte: GOMES, 2010.

3.6.1.2 Processos descontínuos de geração de biogás (túneis de metanização)

Nesse tipo de processo, os reatores têm formato retangulares que lembram túneis ou garagens, geralmente construídos em concreto e funcionam em sequencias de bateladas, sendo que os túneis são abertos, carregados e descarregados em cada batelada (PROBIOGAS, 2015).

Geralmente, as garagens são carregadas e descarregadas utilizando pá carregadeira, sendo que o resíduo fica dentro dessas garagens por um período de 21 dias segue abaixo as principais tecnologias de processos descontínuos (PROBIOGAS, 2015).

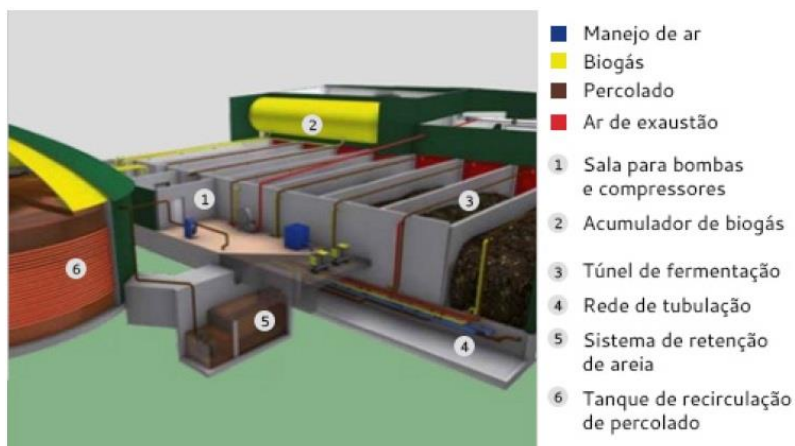
3.6.1.2.1 Tecnologia Kompoferm Plus

Desenvolvido pela empresa alemã Eggersmann Anlagenbau GmbH & Co. KG., essa tecnologia teve sua primeira usina implantada em 2007 (EGGERSMANN, 2013).

Dentro dos reatores anaeróbios o sistema possui grade para melhorar a retirada do lixiviado, canaletas para coleta de lixiviado, porta inteiriça com fechamento hermético e sistema de injeção de ar para secagem dos resíduos antes de serem retirados dos túneis (EGGERSMANN, 2013).

Na Figura 7, é apresentado um modelo esquemático de uma usina, utilizando a tecnologia Kompoferm Plus. Na Figura 8, tem-se imagens de um sistema de túneis instalado.

Figura 7: Modelo esquemático de usina com tecnologia Kompoferm.



Fonte: EGGERSMANN, 2013.

Figura 8: Imagens dos túneis de digestão anaeróbia.



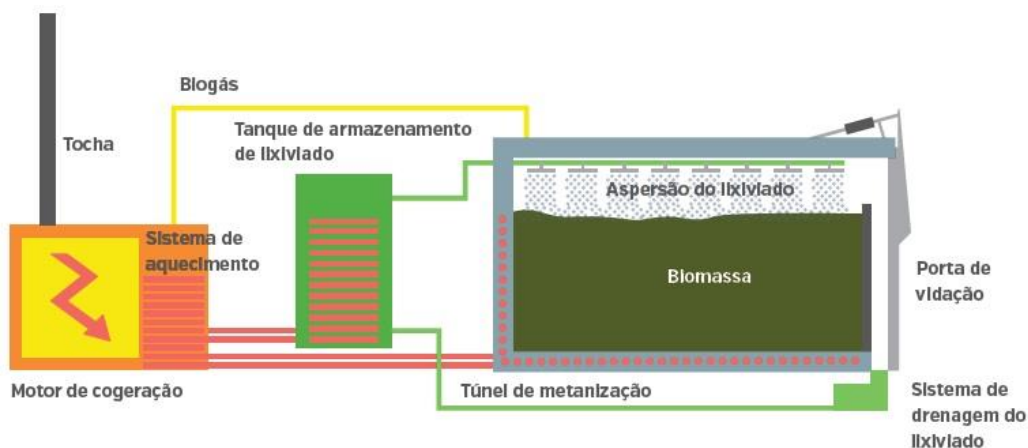
Fonte: EGGERSMANN, 2013.

3.6.1.2.2 Tecnologia Bekon Dry Cicle Fermenter

Criado pela empresa Bekon Energy Technologies GmbH & CO. KG na Alemanha, sua primeira usina foi instalada em 2007 em Munique. Como diferencial a tecnologia possui sistema de aquecimento do piso, introdução de ar pelas laterais, não utiliza gasômetro para acumulação de biogás, os túneis tem portas inteiriças com abertura para cima e canaletas transversais para coleta de lixiviado (BEKON, 2012).

A Figura 9 apresenta um modelo esquemático de funcionamento da tecnologia e a Figura 10 o sistema de abertura dos túneis de metanização (BEKON, 2012).

Figura 9: Modelo esquemático da usina Bekon.



Fonte: BEKON, 2012.

Figura 10: Sistema de abertura dos túneis de metanização.



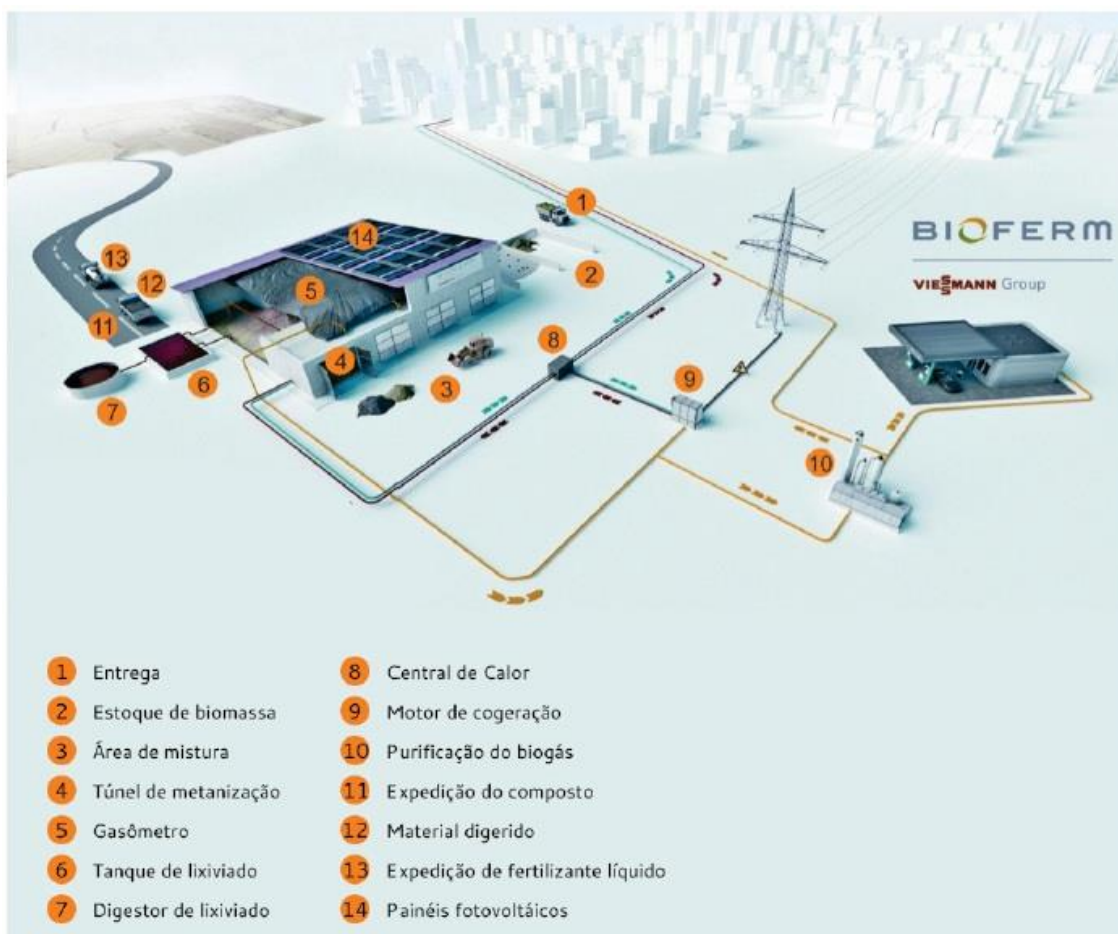
Fonte: BEKON, 2012.

3.6.1.2.3 Tecnologia BIOferm System

A tecnologia foi desenvolvida pela empresa Viessmann Werke GmbH & CO. KG, sendo que suas primeiras usinas foram instaladas nas cidades de Dannenberg e Neuenmarkt em 2006 na Alemanha. Suas principais características são as canaletas de coleta de lixiviado na frente dos túneis de metanização, introdução de ar pelas laterais dos túneis e a porta com abertura lateral bipartida (BIOFERM, 2013).

Na Figura 11, é apresentado um modelo esquemático de uma usina com a tecnologia BIOferm.

Figura 11: Modelo esquemático da usina BIOferm.



Fonte: BIOFERM, 2013.

Na Tabela 4, apresenta-se um comparativo mostrando vantagens e desvantagens de cada tipo de tecnologia.

Tabela 4: Vantagens e desvantagens de cada tipo de tecnologia.

| TECNOLOGIA | VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|------------|--|--|
| Dranko | <ul style="list-style-type: none"> - Agitação via recirculação por bombas hidráulicas. - Inexistência de elementos internos ao reator, diminuindo manutenção. - Existência de equipe de acompanhamento e busca por melhorias contínuas. | <ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de correção de matéria seca com adição de insumos. - Necessidade de recorrente recirculação do material em digestão para evitar sedimentação. - Sistema de abastecimento via bombas com pistão que necessita de limpeza manual |

| | | |
|-----------|---|--|
| | | <p>diária.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de pré-tratamento se existir muitas impurezas no material de entrada. |
| Kompogas | <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de agitação eficiente. - Experiência de mercado. - Experiência em diversos tipos de resíduos. | <ul style="list-style-type: none"> - Manutenção do sistema de agitação. - Procedimento manual de desobstrução da tubulação. - Necessidade de pré-tratamento se existir muitas impurezas no material de entrada. |
| Kompoferm | <ul style="list-style-type: none"> - Índices de desempenho comprovados em escala real. - Robustez do processo biológico. - Suporta maiores quantidades de impurezas. - Introdução de ar na base do reator facilitando a secagem do material na retirada. - Porta inteiriça que melhora a vedação. - Canaletas longitudinais para coletar o lixiviado. | <ul style="list-style-type: none"> - Entupimento das canaletas dificultando a coleta de lixiviado. - Emissões fugitivas de metano. |
| Bekon | <ul style="list-style-type: none"> - Índices de desempenho comprovados em escala real. - Robustez do processo biológico. - Suporta maiores quantidades de impurezas. - Introdução de ar pelas laterais. - Porta inteiriça com abertura para cima que melhora a vedação e evita acidentes. - Não utiliza gasômetro para | <ul style="list-style-type: none"> - Deficiências no processo de aeração do material. - Emissões fugitivas de metano. |

| | | |
|---------|---|---|
| | acumulação de biogás diminuindo o custo de instalação. | |
| BIOferm | <ul style="list-style-type: none"> - Índices de desempenho comprovados em escala real. - Robustez do processo biológico. - Suporta maiores quantidades de impurezas. - Canaletas frontais e longitudinais para coletar o lixiviado. | <ul style="list-style-type: none"> - Deficiências no processo de aeração do material. - Emissões fugitivas de metano. |

Fonte: PROBIOGAS, 2015.

Para a cidade de Jundiaí, foi escolhida a tecnologia Kompoferm, por apresentar maior facilidade em sua manutenção e possibilidade em tropicalizar as soluções de manutenção e substituição de peças.

3.6.2 Remoção de impurezas do biogás.

O biogás é composto basicamente por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água. Porém, existem traços de outros gases, entre eles o mais relevante é o sulfeto de hidrogênio (H₂S) (ROBRA, 2015).

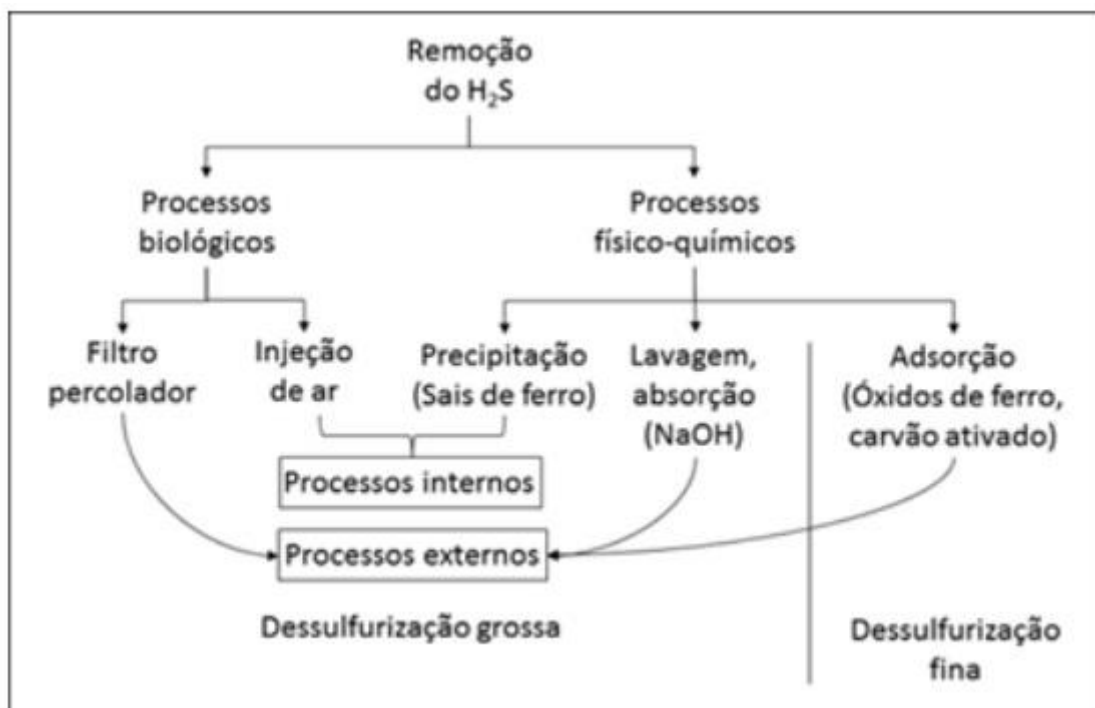
O biogás pode ser utilizado para diversos fins, seja na geração de energia, geração de calor, combustível de veículos e incorporação na rede de gasodutos de gás natural; sendo que para geração de energia a remoção do sulfeto de hidrogênio (H₂S) e do vapor de água já é o suficiente, mas para os outros fins é necessária uma purificação mais profunda (ROBRA, 2015).

O sulfeto de hidrogênio (H₂S), também conhecido como gás sulfídrico, quando participa da combustão reage com outros componentes transformando-se em ácido sulfúrico (H₂SO₄) que é extremamente corrosivo e pode vir a danificar o motor do gerador, diminuindo assim sua vida útil, portanto esse é o principal componente a ser retirado do biogás (ROBRA, 2015).

Porém, usinas com sistemas de remoção de sulfeto de hidrogênio têm um aumento de 21% no custo total do sistema (GOMES, 2017).

Na Figura 12, é apresentado um fluxo do sistema de remoção do sulfeto de hidrogênio (H_2S).

Figura 12: Fluxo do sistema de remoção do sulfeto de hidrogênio (H_2S).



Fonte: SCHNEIDER, 2007.

3.6.3 Geradores de energia elétrica a base de biogás.

No mercado global, existem diversas marcas de geradores que investem nesse seguimento, sendo que uma delas é a mundialmente conhecida empresa Caterpillar que possui, entre outros, o modelo de gerador CG170-12, que trabalha com gás natural, biogás e gases de mina de carvão com uma eficiência elétrica máxima de 43,7% (CATERPILLAR, 2017).

No mercado brasileiro, destaca-se a marca ER-BR Energias renováveis, que possui modelos projetados para trabalharem em regime contínuo, atendendo a cargas de até 50 MW com custos relativamente mais baratos por se tratar de um produto nacional. Possui sistema de filtragem de gás sulfídrico e durabilidade de 30.000 horas (ER-BR, 2017).

Outra marca brasileira de geradores é a Biogás Motores, que possui diversos modelos de geradores movidos a biogás, entre eles o modelo GGB

200 que possui um fator de potência de 0,8, trabalha em regime contínuo e utiliza um motor da marca Scania (BIOGAS MOTORES, 2017).

3.7 Mercado do biogás

O fornecimento de energia utilizando o biogás e o biometano deve ser contratado, utilizando o sistema de leilões realizado pela ANEEL, sendo necessário especificar sua fonte, particularidades tecnológicas e disponibilidade da quantidade de geração, além de valor compatível com a realidade do mercado, cobrado em reais por megawatt hora (R\$/MWh) (ARAGON, 2015).

Conforme informação da ANEEL, há, em operação, no Brasil, 15 usinas de Biogás, com uma potência de 114.680 kW e que representa 0,07% do total gerado no país (ANEEL, 2016).

No Brasil, a inovação dos projetos relacionados ao biogás e ao biometano pode implicar em condições econômicas não muito favoráveis, ao se comparar com outros tipos de projetos de infraestrutura, como o aterro sanitário. Isso deveria ser resolvido se for pensada uma política nacional para esse mercado (ARAGON, 2015).

Porém, no Leilão 01-2016 da ANEEL, foi englobada a solicitação de produção de energia gerada com a utilização de biogás proveniente de resíduos, ao custo de R\$ 258,00 por MWh (ANEEL, 2016).

Segundo Galvão (2010), é necessário levar em conta os benefícios que um sistema sustentável pode trazer, e não somente na viabilidade econômica, os recursos naturais vêm sendo explorados de forma intensa sem que haja tempo suficiente para o planeta se recompor. É necessário avaliar melhor as ações sustentáveis e ter um pensamento mais amplo em relação ao que é realmente o lucro.

4.0 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A cidade de Jundiaí – SP possui uma área de 431,173 Km², conforme representada na Figura 13, e população estimada em 2016 de 412.913 habitantes (IBGE, 2016). Localizada no interior paulista, na latitude 23°11'11" sul e longitude 46°53'03" oeste, estando a uma altitude de 761 metros (JUNDIAÍ, 2017).

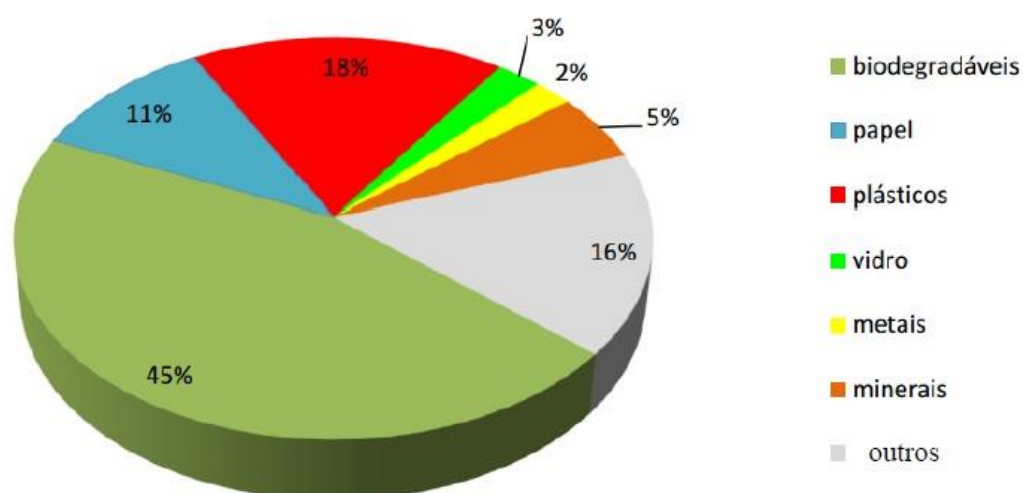
Figura 13 – Mapa de localização do Município de Jundiaí.



Fonte: JUNDIAÍ, 2017.

O diagnóstico realizado no âmbito do Plano de Saneamento Básico Setorial para a Limpeza Urbana e o Manejo de resíduos sólidos da cidade quantificou os tipos de resíduos gerados em Jundiaí, atendendo ao Art. 19, inciso I da Lei nº 12.305/2010, sendo geradas 392 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, que corresponde a 0,949 kg por habitante por dia, sendo classificados conforme exposto no Figura 14 (JUNDIAÍ, 2017).

Figura 14: Classificação dos resíduos sólidos urbanos de Jundiaí.



Fonte: JUNDIAÍ, 2017.

Foram classificados como “outros” materiais como eletrônicos, fraldas descartáveis, absorventes e materiais têxteis.

4.2 Ensaio de geração de biogás

Para iniciar os teste de geração de biogás em laboratório, é necessário primeiramente retirar as amostrar e criar uma lógica de representatividade para que o ensaio abranja a cidade como um todo.

4.2.1 Retirada das amostras

Para que a pesquisa tivesse representatividade, foi definido um sistema de compatibilidade de bairros da cidade de Jundiaí, ou seja, para a retirada das amostras pesquisadas foram escolhidos bairros da cidade que possuem características similares aos outros bairros não amostrados, sendo possível extrapolar as informações adquiridas na pesquisa para os bairros onde não foram retiradas amostras.

Para verificar essa compatibilidade, foram usados critérios da zona de localização (rural ou urbana), classe social residente, a existência de comércio e a existência de indústrias.

Após a escolha dos bairros, foi feito o quarteamento, conforme ABNT NBR 10007:2004 (ABNT, 2004), dos resíduos que estão dentro dos caminhões

compactadores que chegam de cada bairro estudado. Esses resíduos foram descarregados no pátio do transbordo e após isso, os sacos e sacolas foram abertos manualmente, para que se tivesse acesso aos resíduos, sendo retirados 4 tambores de 200 l de amostra por caminhão.

Para a geração de biogás, é utilizada a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos; portanto, após a retirada das amostras, elas passam por um peneiramento onde é separada a fração orgânica das demais frações e, após isso, é levada apenas a fração orgânica para o laboratório, para a execução do teste de geração de biogás em 21 dias (GB21).

4.2.2 GB21 – (Generation of Biogás in 21 days)

Essa análise é realizada para avaliar o potencial de geração de biogás da fração do resíduo orgânico, em um ambiente anaeróbio e, dessa maneira, identificar a quantidade de biogás gerado, para analisar, posteriormente, suas propriedades físico-químicas e, assim, decidir qual a melhor maneira de aproveitamento desse combustível. Esse teste tem a duração de 21 dias, passando por leitura e extração de dados diariamente, levando-se em consideração o horário das leituras, temperatura ambiente e a pressão atmosférica.

Além disso, para que a decomposição ocorra, é necessário adicionar uma cadeia microbiológica à amostra. Para isso, foi utilizado o lodo da estação de tratamento de esgoto da cidade de Jundiaí.

Com base na norma DIN 38414-8 (1985-06) (DIN, 1985), os passos deste processo são:

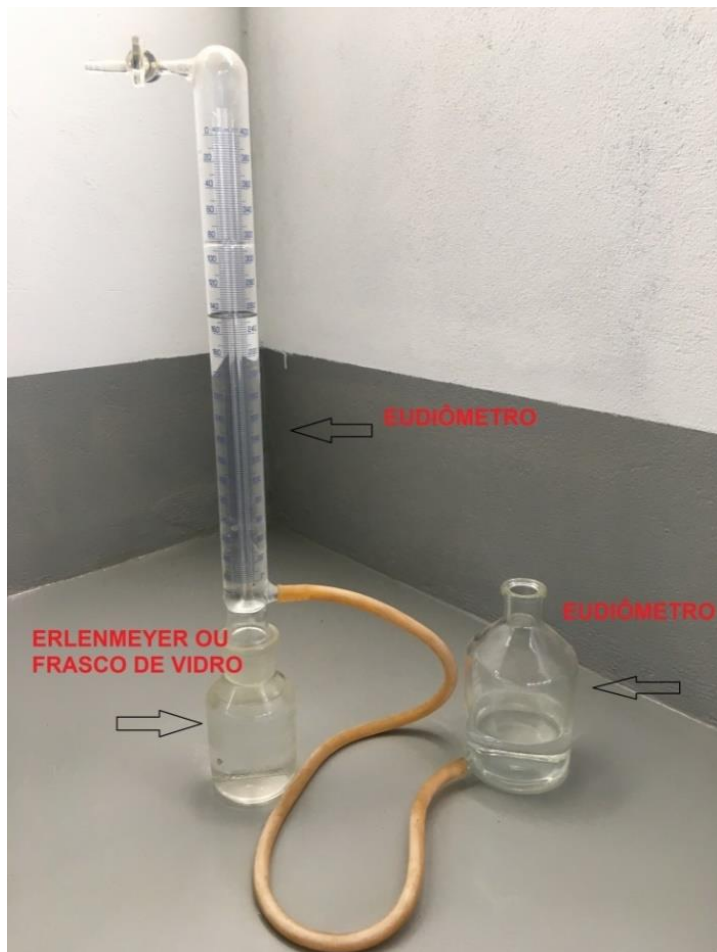
- Preparar uma amostra em balão volumétrico de 1L com 30 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e 1L de água destilada.
- Aquecer essa mistura e colocar 200 g de sulfato de sódio Na_2SO_4 , homogeneizar até que o sulfato de sódio seja dissolvido e reservar.
- Diminuir as amostras de resíduos em tamanhos menores que 10mm, descartar vidros, metais e minerais.

- Separar 8 frascos *erlenmeyer* ou recipiente de vidro onde seja possível encaixar o eudiômetro, como mostrado na Figura 15.
- No restante, adicionar 50 g de resíduo, 50 ml de lodo e 300 ml de água.
- Determinar o PH (que deve estar acima de 8,0).
- As amostras que não estão acima de 8,0, ajustar com uma solução básica (hidróxido de sódio NaOH diluído em água destilada).
- Colocar a solução que estava reservada no balão volumétrico em 8 recipientes que serão conectados aos eudiômetros.
- Conectar o tubo do eudiômetro (aparelho que mede a quantidade de gás, Figura 6) aos erlenmeyers e colocar os erlenmeyers no equipamento de banho maria à 35° C, Figura 16.
- Abrir a torneira do eudiômetro, e deixar o líquido do recipiente chegar até a marca de 20 ml na régua de medição.
- No dia seguinte, realizar a medição levantando o recipiente na altura do mesmo nível do líquido do eudiômetro.
- Repetir essa medição por 21 dias e anotar as leituras em uma planilha (modela da planilha, Anexo 1).
- Após os 21 dias, retirar o eudiômetro e realizar a medição de PH novamente das amostras dos frascos erlenmeyer (o PH deve estar menor que 6,8).

Após esse procedimento, as amostras podem ser descartadas na rede de tratamento de esgoto (MÜNNICH, 2015).

Na figura 17, pode-se visualizar o ensaio preparado para realização das medições diárias.

Figura 15 - Imagem da vidraria utilizada no ensaio.



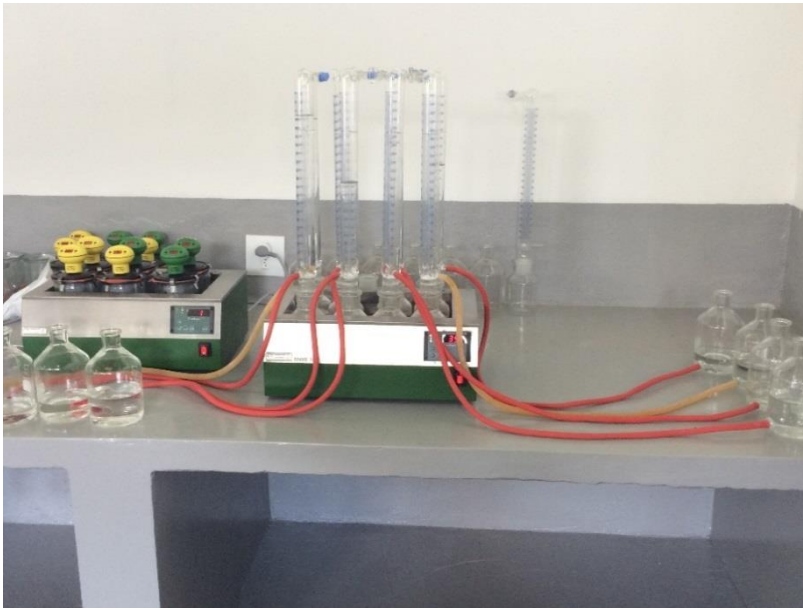
Fonte: Autor.

Figura 16 - Imagem do equipamento de banho maria utilizado no ensaio.



Fonte: Autor.

Figura 17 - Imagem do ensaio em operação.



Fonte: Autor.

Com os dados anotados na planilha tem-se a produção média de biogás através da seguinte equação:

$$Mb = \frac{\sum_{i=1}^n x TCi}{n} \text{ (eq. 1)}$$

Onde:

Mb = Média de biogás por bairro – (NI/kg)

TC = Total da Coluna – (NI/kg)

n = Número de amostras, neste trabalho $n = 8$.

Para o cálculo do potencial total do município, foi utilizada a média de todas as amostras para encontrar a equivalência da quantidade de biogás gerado em 1 kg de resíduos e assim multiplicar pela quantidade total de resíduos orgânicos que o município produz diariamente.

$$MGB21 = \frac{\sum_{i=1}^b x Mbi}{b} \text{ (eq. 2)}$$

Onde:

$MGB21 = \text{Média de geração de biogás para cidade} - (m^3)$

$b = \text{Quantidade de bairros, neste trabalho } b = 9$

$Mb = \text{Média de biogás por bairro} - (NI/kg)$

Para se ter um valor mais representativo, desconsiderou-se o menor e o maior valor obtidos.

Em seguida, aplicou-se as equações 3 e 4, a saber:

$$QR = TR \times IR \text{ (eq. 3)}$$

$$GT = QR \times MGB21 \text{ (eq. 4)}$$

Onde:

$QR = \text{Quantidade de resíduos} (m^3)$

$TR = \text{Total de resíduos produzido por dia na cidade} (kg)$

$IRO = \text{Índice de resíduos orgânicos} (\%)$

$GT = \text{Geração total de biogás por dia} (m^3)$

Para calcular o quanto se gera de energia com o total de biogás gerado por dia segundo Lima (2017), utilizou-se a equação 5, a saber:

$$\text{Energia (KJ)} = GT (m^3) \times PCI (KJ/m^3) = \text{MWh/ano (eq. 5)}$$

$PCI = \text{Poder calorífico} = 27.000 \text{ KJ (LIMA, 2017)}$.

Para avaliar o custo da energia gerada, calculou-se o Fator de Recuperação do Capital, através da equação 6.

$$FRC = \frac{\{(1+n)^i\} \times n}{\{(1+n)^i\} - 1} = \text{adimensional (eq. 6)}$$

Onde:

n = Porcentagem referente ao custo de manutenção (%), neste trabalho foi considerado 10%.

i = Vida útil da termoeletrica em anos, neste trabalho foi considerado 25 anos.

Para o cálculo do custo da energia gerada, utilizou-se a equação 7.

$$CEG = \frac{I \times FRC + COM}{\text{Energia anual}} \quad (\text{eq. 7})$$

Onde:

I = Investimento total da usina em reais (R\$).

FRC = Fator de recuperação do capital (adimensional).

COM = Custo de operação e manutenção (%), neste trabalho foi considerado 10% do investimento total.

CEG = Custo da energia gerada em reais (R\$).

Por fim, para o cálculo do investimento máximo, para a viabilidade da usina, temos a equação 8.

$$CEG = \frac{PV \times E}{FRC + 0,10} \quad (\text{eq. 8})$$

Onde:

PV = Preço de venda da energia (R\$)

E = Quantidade de energia gerada (MWh)

FRC = Fator de recuperação de capital (adimensional)

5.0 RESULTADOS

5.1 Retirada das amostras

Conforme critérios estabelecidos na metodologia, foram escolhidos 9 bairros para a retirada das amostras, sendo eles Malota, Jundiá Mirim, Santa Gertrudes, São Camilo, Champirra, Fazenda Grande, Morada das Vinhas, Jardim Paulista e Vila Maringá. Na Figura 18, ilustra-se o procedimento sendo realizado.

Figura 18 – Imagem do procedimento de rasga saco.



Fonte: Autor.

Após a retirada das amostras, o resíduo foi peneirado com uma malha de 20mm, conforme Figura 19.

Figura 19 – Imagem da peneira de resíduos sólidos.



Fonte: Autor.

Como resultado, obtida a fração orgânica de cada amostra (Figura 20), fração que foi encaminhada ao laboratório para o teste de geração de biogás.

Figura 20 – Imagem do resíduo peneirado.



Fonte: Autor.

5.2 Geração de biogás (GB21)

Após a execução do teste de geração de biogás (GB21), foi construída a Tabela 5.

Tabela 5: Resultados do teste de geração de biogás.

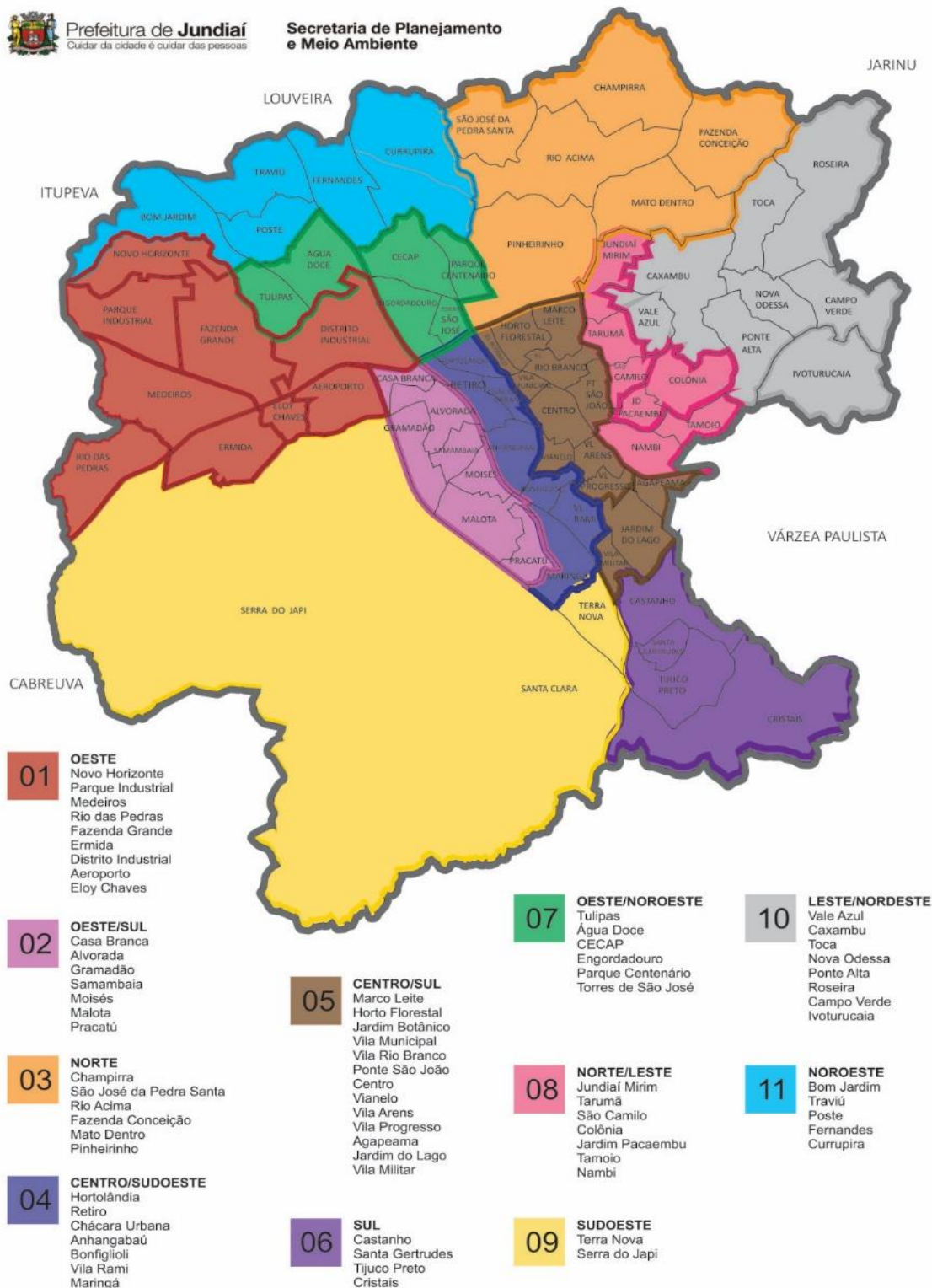
| BAIROS | COLUNA 1 NI/kg | COLUNA 2 NI/kg | COLUNA 3 NI/kg | COLUNA 4 NI/kg | COLUNA 5 NI/kg | COLUNA 6 NI/kg | COLUNA 7 NI/kg | COLUNA 8 NI/kg | MÉDIA NI/kg |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| Malota | 371,45 | 348,66 | 93,28 | 55,44 | 115,08 | 75,71 | 81,62 | 32,13 | 146,67 |
| Jundiá Mirim | 71,25 | 47,34 | 53,54 | 25,07 | 66,02 | 35,13 | 49,25 | 77,23 | 53,10 |
| Santa Gertrudes | 73,36 | 15,79 | 54,04 | 51,80 | 48,90 | 20,92 | 32,93 | 32,86 | 41,32 |
| São Camilo | 245,40 | 114,30 | 51,04 | 115,18 | 104,89 | 15,58 | 23,17 | 30,87 | 87,55 |
| Champirra | 171,14 | 231,33 | 105,17 | 129,70 | 119,36 | 375,85 | 131,05 | 126,66 | 173,78 |
| Fazenda Grande | 256,49 | 271,24 | 106,10 | 112,54 | 90,03 | 101,36 | 70,91 | 85,32 | 136,75 |
| Morada das Vinhas | 200,17 | 322,37 | 100,34 | 121,10 | 100,10 | 93,59 | 88,18 | 77,34 | 137,90 |
| Jardim Paulista | 152,33 | 172,76 | 65,10 | 58,66 | 171,10 | 335,04 | 85,24 | 39,99 | 135,03 |
| Vila Maringá | 273,35 | 122,71 | 183,97 | 96,73 | 96,70 | 43,53 | 246,12 | 39,97 | 137,89 |

Fonte: Autor.

Na última coluna da Tabela 5 (MÉDIA NI/kg), obtêm-se os valores referentes a eq.1, descrita na metodologia deste trabalho.

Na Figura 21, pode-se verificar a localização de cada bairro estudado, bem como a divisão por regiões.

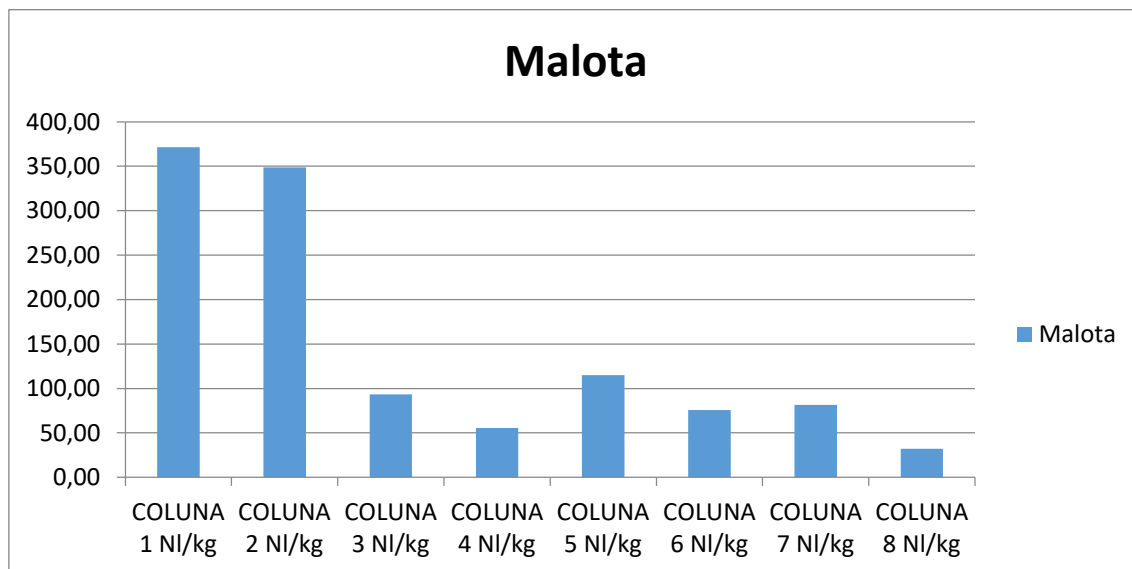
Figura 21: Localização dos bairros e divisão por regiões.



Fonte: JUNDIAÍ, 2017.

Nos gráficos de 1 a 9 são mostrados os resultados para cada bairro estudado. São feitos comentários sobre a situação dos resíduos orgânicos e recicláveis, dentro do contexto socioeconômico de cada bairro.

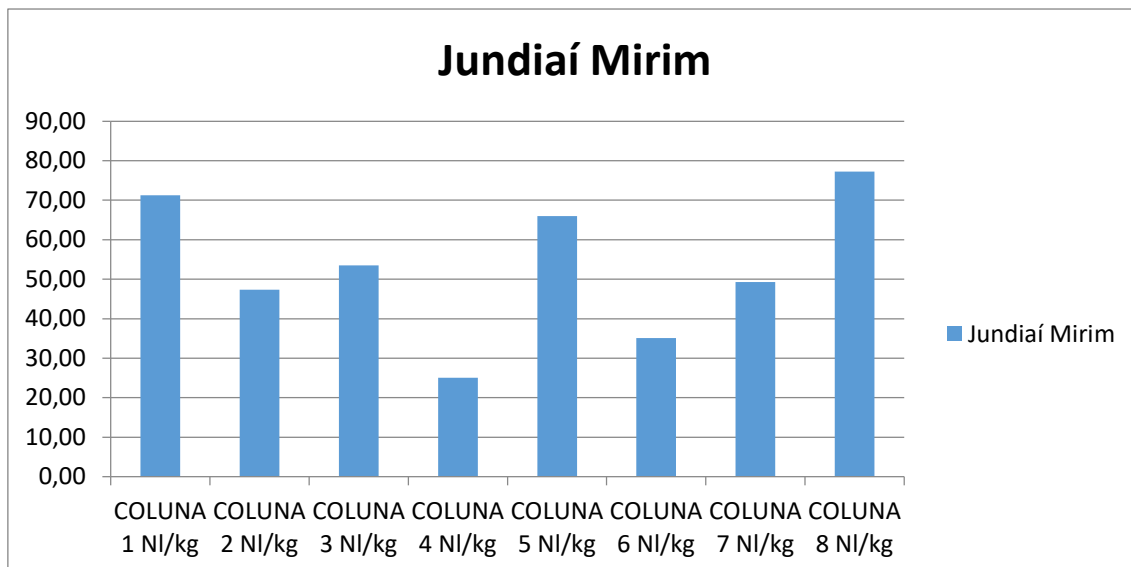
Gráfico 1: Resultados para o bairro da Malota.



Fonte: Autor.

O bairro da Malota possui uma população de classe alta. Durante as análises foi possível identificar uma quantidade de resíduos orgânicos superior aos resíduos recicláveis dentro dos sacos de disposição que foram recolhidos, o que indica que o bairro aderiu de forma positiva ao sistema da coleta seletiva implantado na cidade.

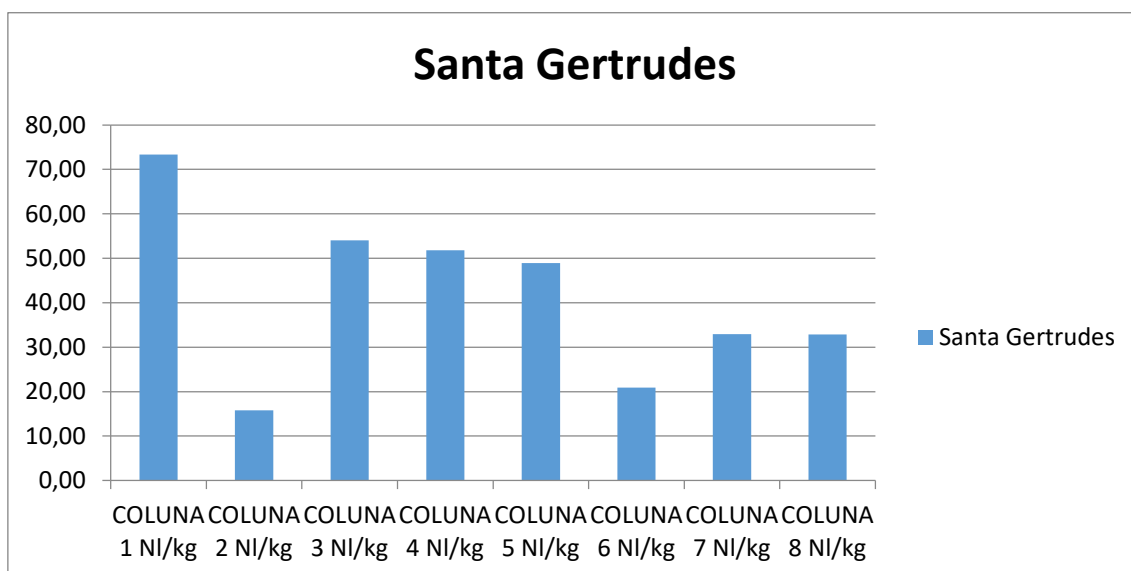
Gráfico 2: Resultados para o bairro Jundiaí Mirim.



Fonte: Autor.

O bairro Jundiaí Mirim possui uma população de classe média baixa. Durante as análises, foi detectada uma mistura muito elevada entre resíduos orgânicos e resíduos recicláveis, prevalecendo os inorgânicos, mostrando que é possível melhorar a comunicação com a população sobre o sistema de coleta seletiva.

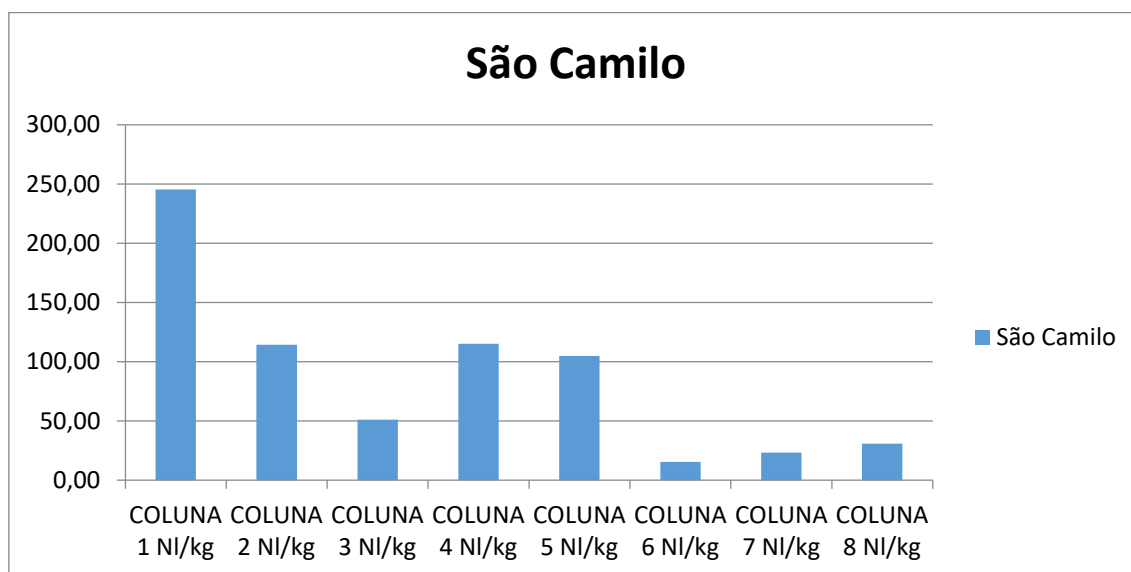
Gráfico 3: Resultados para o bairro Santa Gertrudes.



Fonte: Autor.

O bairro Santa Gertrudes também possui uma população de classe média baixa. Durante as análises, foi detectada uma mistura muito elevada entre resíduos orgânicos e resíduos recicláveis, prevalecendo os inorgânicos, mostrando que é possível melhorar a comunicação com a população sobre o sistema de coleta seletiva. Devido ao bairro ser afastado do centro, possui uma característica comercial, sendo possível encontrar diversos tipos de pequenos comércios espalhados pelo bairro.

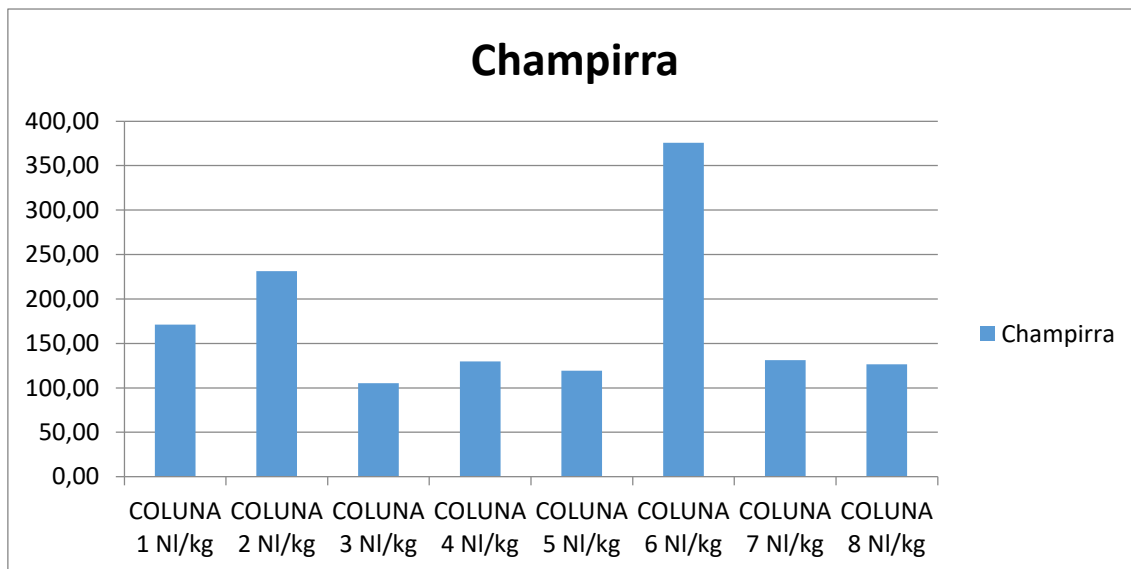
Gráfico 4: Resultados para o bairro São Camilo.



Fonte: Autor.

O bairro São Camilo é formado por uma população de baixa renda, sendo possível verificar em seu interior, casas e sub-moradias, além de pequenos comércios. Durante a análise de seus resíduos verificou-se que a população desse bairro participa de forma ativa da coleta seletiva, por dois motivos em especial. O primeiro é que a reciclagem, como já mencionado, pode ser uma fonte de renda e pelo município ter um projeto “Delícia de Reciclagem” que visa à troca de materiais recicláveis por verduras cultivadas na horta municipal.

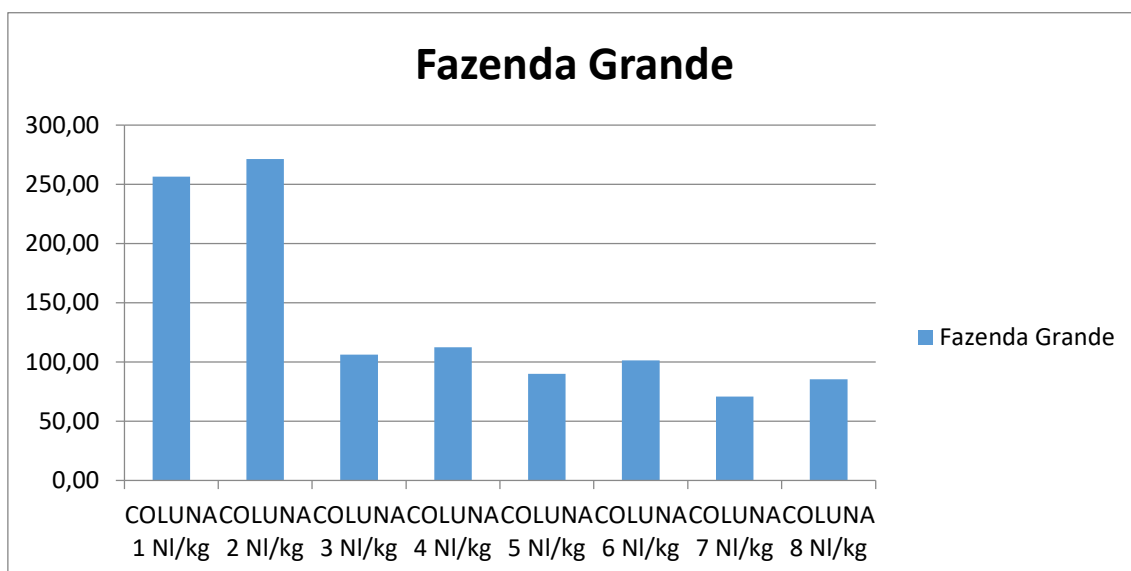
Gráfico 5: Resultados para o bairro Champirra.



Fonte: Autor.

O bairro do Champirra fica na zona rural da cidade de Jundiá. Possui uma população de classe média baixa misturada com classe média alta, tendo em seu interior pequenos comércios para atender aos moradores locais. Em seus resíduos foram encontrados grandes quantidades de recicláveis, mostrando oportunidades para melhorar o sistema de coleta seletiva no bairro.

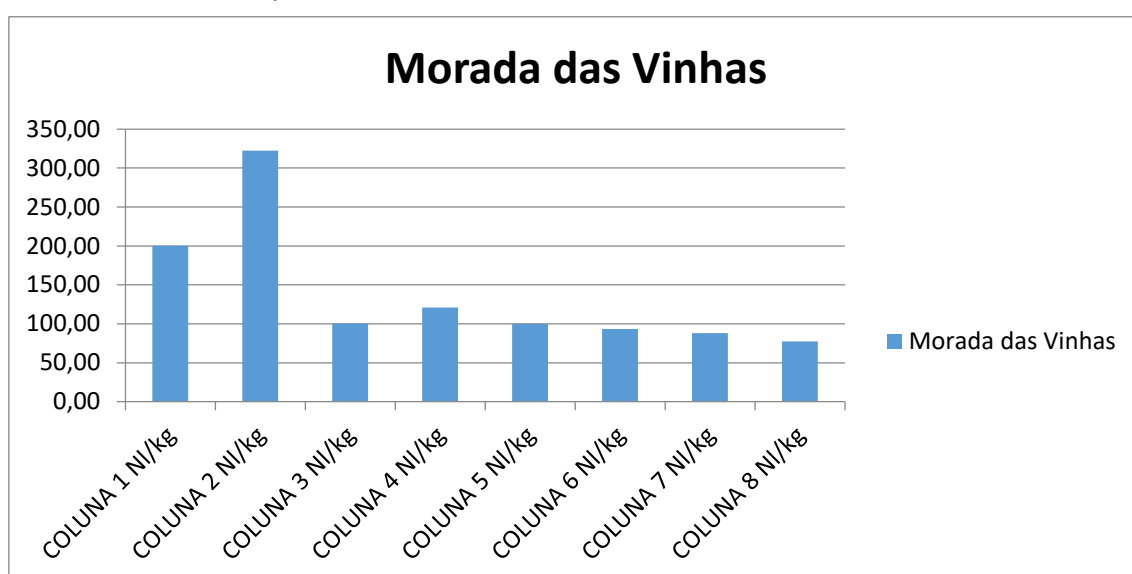
Gráfico 6: Resultados para o bairro Fazenda Grande.



Fonte: Autor.

O bairro Fazenda Grande possui uma população de classe média baixa. Durante as análises, foi detectada uma mistura muito elevada entre resíduos orgânicos e resíduos recicláveis, mostrando que é possível melhorar a comunicação com a população sobre o sistema de coleta seletiva. O bairro é composto por casas de interesse social, construídas num mesmo padrão, possui pequenos comércios por ser afastada do centro, fica próximo ao distrito industrial do município onde grande parte da população do bairro tem sua ocupação.

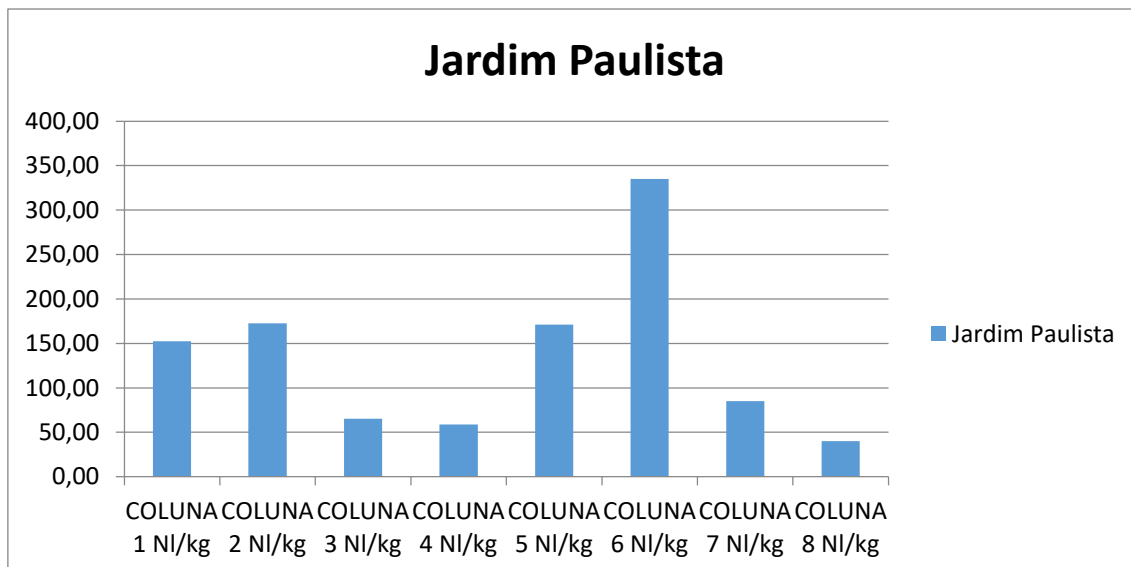
Gráfico 7: Resultados para o bairro Morada das Vinhas.



Fonte: Autor.

O bairro Morada das Vinhas possui uma população de classe média baixa. Durante as análises, foi detectada uma mistura muito elevada entre resíduos orgânicos e resíduos recicláveis, mostrando que é possível melhorar a comunicação com a população sobre o sistema de coleta seletiva. O bairro é composto por prédios de interesse social, construídos num mesmo padrão, possui pequenos comércios por ser afastado do centro, possui poucas residências se comparado ao número de prédios, este bairro conta com um parque e um ecoponto onde a população pode descartar materiais volumosos, entulhos, eletrônicos, poda de árvore, entre outros matérias de difícil descarte.

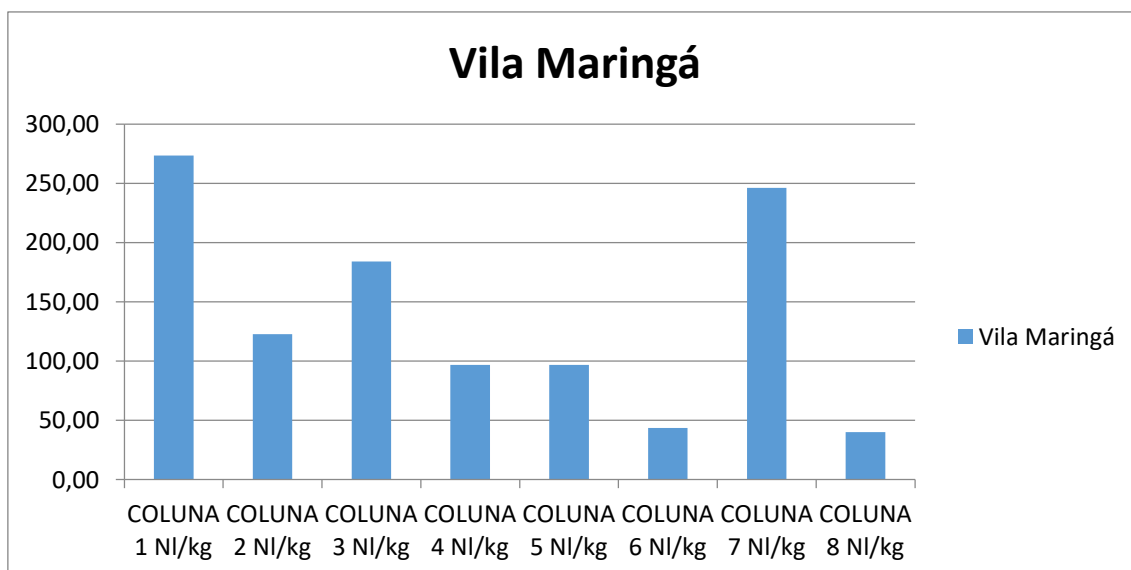
Gráfico 8: Resultados para o bairro Jardim Paulista.



Fonte: Autor.

O bairro Jardim Paulista é constituído com uma população de classe média alta e classe alta. Fica próximo ao centro e das principais vias de acesso da cidade. Na análise de seus resíduos, foi verificada grande quantidade de resíduos orgânicos, mostrando que a população que ali reside se identificou com o sistema de coleta seletiva. Possui poucos comércios em seu interior, em sua maior parte academias, escolas e centros estéticos.

Gráfico 9: Resultados para o bairro Vila Maringá.



Fonte: Autor.

O bairro Vila Maringá possui uma população de classe média, onde é possível encontrar diversos tipos de comércios em seu interior. Na análise dos seus resíduos, foi verificada uma elevada mistura entre resíduos orgânicos e recicláveis, mostrando uma oportunidade de melhora na comunicação do sistema de coleta seletiva para o bairro.

São feitos, a seguir, comentários sobre os resultados gerais e específicos obtidos.

É possível perceber uma grande variação dos valores entre os bairros e entre as colunas. Verifica-se que nos bairros onde se tem a menor geração de biogás, Jundiaí Mirim e Santa Gertrudes, o resíduo gerado é composto por uma maior parcela de materiais inorgânicos, resultando menos geração de biogás.

Já a diferença entre as colunas de um mesmo bairro, ocorre devido ao tempo de decomposição. Foi detectado que existem materiais em estágios de decomposição diferentes em cada uma das amostras, resultando na variação entre as colunas.

Através desses resultados, pode-se chegar a uma produção média para o município de Jundiaí, executando o cálculo previsto na eq. 2, já desconsiderando o maior e o menor valor de:

$$\text{MGB21} = (146,67 + 53,10 + 87,55 + 136,75 + 137,90 + 135,03 + 137,89) / 7 = 119,27 \text{ NI / kg}$$

Portanto, aplicando a fórmula obtém-se como resultado para o MGB21 de 119,27 NI de biogás por kg de resíduo.

Porém, segundo Lima (2017), tem-se 60% a 65% de metano na composição do biogás. Sendo assim, considerando uma quantidade de 60% de metano no biogás gerado, há um total de 71,56 NI de CH₄ no resíduo gerado.

Sabe-se que, em Jundiaí, há uma produção de 392.000,00kg por dia de resíduos e que segundo o Plano de Resíduos Sólidos do Município, apenas 45% dos resíduos são orgânicos, ou seja, apenas 45% desses resíduos tem capacidade de geração de biogás, com isso tem-se QR = 176.400,00 kg de resíduos orgânicos por dia.

Com esse valor pode-se chegar à geração total, pela eq. 4, obtendo-se:

$$GT = 71,56 \times 176.400,00 = 12.623,184,00 \text{ NI de CH}_4/\text{dia.}$$

Transformando esse valor em metros cúbicos, tem-se $GT = 12.623,18 \text{ m}^3$ de CH_4/dia .

Portanto, atualmente, o município de Jundiá tem possibilidade de geração de energia da ordem de:

$$\text{Energia} = 12.623,18 \text{ m}^3 \text{ de CH}_4/\text{dia} \times 20.700 \text{ kJ (eq. 5)}$$

$$\text{Energia} = 261.299.826,00 \text{ kJ} / 3600 \text{ (kJ/kWh)}$$

$$\text{Energia} = 72.583,29 \text{ kWh} = 72,58 \text{ MWh/dia}$$

Considerando a quantidade de energia gerada por dia, pode-se estimar a geração no ano da seguinte forma:

$$\text{Energia anual} = 72,58 \text{ MWh/dia} \times 8760 \text{ h/ano} = 635.800,80 \text{ MWh/ano}$$

Com isso, e sabendo-se que, no leilão 01/2016 da ANELL, o valor do MWh gerado por usinas de biogás foi estabelecido em R\$ 258,00 (duzentos e cinquenta e oito reais), assumindo que:

- O custo da energia gerada (CEG) seja igual ao valor recebido pela venda.
- Adotando a taxa de juros de 10% para o fator de recuperação do capital (FRC).
- O custo de operação e manutenção anual de 10% do investimento total.
- A vida útil da termoeletrica em 25 anos e o custo de operação e manutenção (COM) tem-se que:

$$\text{FRC} = \{[(1 + 0,1) ^ 25] \times 0,1\} / \{[(1 + 0,1) ^ 25] - 1\} = 0,1102 \text{ (eq. 6)}$$

$$\text{CEG} = 258.000.000 \times 0,1102 + 25.800.000 / 635.800,80 = 85,29 \text{ R\$/MWh (eq. 7)}$$

Assumindo que o custo de energia gerada é de R\$ 85,29, tem-se uma vantagem econômica se comparado ao valor de venda por R\$258,00.

Outra maneira de verificar a viabilidade do negócio é calcular qual o investimento máximo que poderia ser feito para tornar o custo da energia gerada igual ao preço de venda. Neste caso, adotando o custo de operação e manutenção igual a 10% do investimento máximo anual, tem-se que:

$$CEG = (I \times FRC + COM) / E$$

$$CEG = (I \times FRC + 0,10 \times I) / E$$

$$CEG = [I (FRC + 0,10)] / E$$

Tomando $CEG = PV$ (custo da energia gerada igual ao preço de venda), obtém-se, utilizando a eq. 8:

$$I \text{ max} = PV \times E / (FRC + 0,10)$$

$$I \text{ máx} = (258,00 \times 635.800,80) / 0,2102 = R\$ 780.383.474,79$$

Se a usina funcionar 24h, a potência das turbinas será de 72.583,29 kWh / 24 horas = 3024,30 kW.

Conforme estudo realizado pela prefeitura de Jundiaí, o investimento total para construção da usina com a tecnologia Kompoferm Plus da empresa Eggersmann seria da ordem de R\$ 258.000.000,00 (duzentos e cinquenta e oito milhões de reais), discriminado na Tabela 6, menor que o $I \text{ máx}$ calculado, indicando que a usina pode se tornar viável.

Tabela 6: Discriminação do custo de implantação da usina.

| CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO | |
|------------------------------|-----------------------|
| DESCRIÇÃO | VALOR |
| Serviços Preliminares | 4.000.000,00 |
| Infraestrutura | 30.000.000,00 |
| Construção do Galpão | 10.000.000,00 |
| Máquinas e equipamentos | 12.000.000,00 |
| Biodigestores | 144.000.000,00 |
| Motogeradores | 58.000.000,00 |
| TOTAL | 258.000.000,00 |

Fonte: Autor, adaptado de JUNDIAÍ,2015.

Considerando-se que o aterro onde são depositados os resíduos sólidos urbanos da cidade de Jundiaí, não possui tratamento das emissões atmosféricas.

Considerando-se também, que se tem uma quantidade de 12.623,18m³ de metano CH₄ sendo gerado por dia, e multiplicando esse valor pela densidade do gás metano, tem-se uma quantidade de 8.470,15 kg de CH₄. Sabendo-se que o metano é 21 vezes mais impactante ao meio ambiente que o CO₂, tem-se que essa quantidade de metano representa 177,87 t CO₂ por dia.

Conforme edital 001/2012 da BM&F BOVESPA, o crédito de carbono foi vendido à €3,30 cada t de CO₂.

Sendo assim, haverá um rendimento anual com créditos de carbono de € 211.309,56. Considerando-se o euro igual a R\$3,70, obtêm-se R\$ 781.845,36 de créditos de carbono para a cidade de Jundiaí.

Em 2010, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, realizou um estudo para o Ministério do Meio Ambiente sobre 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, obtendo CEG = 112,66 R\$/MWh.

Isso indica que, em 2010, a utilização do biogás como fonte de energia, já seria viável.

Além disso, o estudo de 2010 do Ministério do Meio Ambiente mostrou que os créditos de carbono também são uma opção viável e, para o caso apresentado, representava uma quantidade de 255,28 t CO₂ por dia. Considerando-se o valor por t CO₂ em €3,30, obtêm-se um rendimento anual de € 307.484,76. Considerando-se o euro igual a R\$ 3,70, têm-se uma receita com crédito de carbono de R\$ 1.137.693,61 para a região sudeste.

Isso mostra que os valores calculados para a cidade de Jundiaí são relevantes quando comparados com os valores previamente estudados por importantes órgãos governamentais.

5.3 Síntese dos resultados econômicos

Pensando nas vantagens econômicas do sistema, deve-se levar em consideração a economia referente a diminuição da quantidade de resíduos sólidos urbanos enviados para o aterro sanitário, sendo que, em média, o tratamento biológico reduz em 30% a quantidade dos resíduos após a geração do biogás.

Sendo assim, ter-se-á uma redução na quantidade de resíduos enviados da ordem de 19.315,80 toneladas por ano. Considerando que o município de Jundiaí paga para a destinação final dos resíduos um valor de R\$180,00 (cento e oitenta reais) por tonelada, pode-se obter uma economia de R\$3.476.844,00 (três milhões, quatrocentos e setenta e seis mil, oitocentos e quarenta e quatro reais).

Somando esse valor com a renda anual da venda de energia, estimada em R\$164.036.606,40 (cento e sessenta e quatro milhões, trinta e seis mil, seiscentos e seis reais e quarenta centavos) e o crédito de carbono que é de R\$781.845,36 (setecentos e oitenta e um mil, oitocentos e quarenta e cinco reais e trinta e seis centavos), obtém-se um total de recursos para o município de Jundiaí de R\$168.295.295,76 (cento e sessenta e oito milhões, duzentos e noventa e cinco mil, duzentos e noventa e cinco reais e setenta e seis centavos), conforme Tabela 7.

Além desses valores, é possível adicionar a arrecadação da venda dos materiais recicláveis, caso o município não opte por utilizar cooperativas. Porém esse valor não foi considerado nesse trabalho.

Tabela 7: Resumo de valores.

| DESCRIÇÃO | VALORES |
|-------------------------|--------------------------|
| Venda da energia gerada | R\$164.036.606,40 |
| Créditos de carbono | R\$781.845,36 |
| Redução de aterramento | R\$3.476.844,00 |
| TOTAL | R\$168.295.295,76 |

Fonte: Autor.

6.0 CONCLUSÃO

A pesquisa mostrou-se significativa e de impacto para o município de Jundiaí, uma vez que, além de ser uma opção para o cumprimento do estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), propõe uma solução que pode garantir o retorno dos recursos aplicados, sendo possível, no futuro, utilizar-se dos valores economizados nos gastos com a gestão de resíduos, em outras áreas da administração pública, como saúde e educação.

Ressalta-se que foram discutidas várias opções tecnológicas para a geração do biogás, sendo que estudos mais aprofundados devem ser feitos para definir qual a melhor alternativa para a cidade de Jundiaí.

Além disso, outro aspecto técnico fundamental que necessita ser avaliado com mais profundidade, se refere ao potencial de produção de biogás em escala piloto, visando confirmar os valores obtidos nos testes de laboratório.

Com relação à viabilidade econômica do Projeto, um aspecto importante se relaciona ao grau de automação do processo, com vistas a diminuir os custos operacionais. Neste sentido, é importante que os custos de operação e manutenção anuais não superem o percentual adotado, de 10% do investimento total.

A implantação da usina pode trazer benefícios para a proteção climática, ao contribuir para a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa.

A implantação da usina torna-se vantajosa, também, por permitir que o município participe de outras campanhas governamentais, incluindo financiamentos a fundos perdidos e outros recursos de interesse municipal que não aumentem o índice de endividamento da cidade.

O município de Jundiaí vem mostrando tendência de crescimento, principalmente, junto às classes alta e média, devido à proximidade dos grandes polos industriais e comerciais de São Paulo e Campinas. Com isso, espera-se que a quantidade de resíduos também irá crescer, fazendo com que a segregação na fonte, o beneficiamento e o uso energético dos resíduos sólidos urbanos se tornem ainda mais importantes.

Neste aspecto, pode-se pensar na cobrança diferenciada da taxa de coleta, aos moradores que segreguem os resíduos orgânicos dos recicláveis, independentemente da faixa social a que pertençam.

Outro ponto relevante a se discutir, é o fato de que Jundiaí é uma cidade classificada como Área de Proteção Ambiental (APA) desde 1987 e, com isso, não é permitida a construção de aterro sanitário na cidade, fazendo com que Jundiaí encaminhe todos os resíduos sólidos urbanos para um aterro privado na cidade de Santana de Parnaíba.

Porém, o aterro sanitário de Santana de Parnaíba está com seu prazo de vida útil no limite, fazendo com que Jundiaí tenha que encaminhar, no futuro, seus resíduos para outro aterro e, com isso, é possível que exista um reajuste de valores para a disposição desses resíduos, fazendo com que o custo para a realização dessa operação aumente, com impactos aos cofres públicos e a população.

Neste aspecto, julga-se ser necessária vontade política para implantação de uma usina desse porte, pois o 'lobby' das empresas de limpeza pública e de aterro sanitário, enxergam esse projeto como uma ameaça ao sistema tradicional do mercado de resíduos sólidos urbanos, uma vez que se os resíduos forem tratados, haverá uma diminuição drástica da quantidade enviada para o aterro, fazendo com que a receita dessas empresas diminua.

Portanto, caberá ao gestor político quebrar esse paradigma, sendo que um dos caminhos seria trazer as empresas ora ameaçadas como parceiras no desenvolvimento de projetos na área de novas tecnologias, firmando convênios ou até mesmo parcerias públicas privadas (PPP).

Como visto nos resultados obtidos, é possível obter ganhos da ordem de R\$168.295.295,76 (cento e sessenta e oito milhões, duzentos e noventa e cinco mil, duzentos e noventa e cinco reais e setenta e seis centavos) com a venda da energia gerada, partindo da premissa que a energia seja vendida ao preço de 258 reais por megawatt hora. Visando maximizar o lucro obtido, a energia produzida poderá ser comercializada diretamente junto à concessionária local, ser abatida do valor consumido pela Prefeitura, ou ser vendida em leilões junto ao mercado livre de energia.

Neste sentido, julga-se importante que a Prefeitura utilize o máximo possível da energia em seu consumo próprio, nos prédios públicos, escolas, semáforos e na iluminação pública. Por fim, vislumbra-se que a tendência de utilização de veículos elétricos urbanos, possa ser incentivada.

Portanto, torna-se fundamental a continuidade de pesquisas, por parte do município de Jundiaí, para trazer cada vez mais soluções inovadoras, como, por exemplo, a utilização do biogás da estação de tratamento de esgoto para geração de energia, ou mesmo a utilização do biogás para abastecimento da frota de veículos públicos.

Pesquisas nessas áreas tornam-se relevantes pois podem trazer benefícios financeiros aos cofres públicos, gerar empregos e renda para a população.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos de 2014**. 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

ALBERTE, Elaine Pinto Varela; CARNEIRO, Alex Pires; KAN, Lin. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. **Diálogos & Ciência: Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana**, Feira de Santana, v. 5, p.1-15, 01 jun. 2005.

ANEEL, BIG – BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO – ANEEL, 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>> Acesso em 25 de fevereiro de 2017.

ARAGON, Gaston et al (Org.). **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano PNBB**. São Paulo: Abiogás, 2015. 64 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007:2004**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004. 21 p.

BAPTISTA, Vinícius Ferreira. As políticas públicas de coleta seletiva no município do Rio de Janeiro: onde e como estão as cooperativas de catadores de materiais recicláveis?. **Revista de Administração Pública**, [s.l.], v. 49, n. 1, p.141-164, fev. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/0034-76121603>>.

BARCO, J. J. G. El Ecoparque de La Rioja: Experiência Prática de Obtención de Energía de los Resíduos Urbanos. Consorcio de Aguas y Residuos de La Rioja, 2007. Disponível em:

<<http://www.fundaciongasnatural.org/SiteCollectionDocuments/Actividades/Seminarios/Logro%C3%B1o%20311007/5.%20D.%20Juan%20Jos%C3%A9%20Gil%20Barco.pdf>>, acessado em: 26/12/2017.

BEKON, 2012. Energy for the future Dry Fermentation. Innovative Solutions for Cities and Agriculture.2012. Disponível em: <<http://www.bekon.eu/productdownloads.html>>, acessado em: 26/12/2017.

BIOFERM Energy Systems. The BIOFerm™ Dry Fermentation System.2013. Disponível em: <<http://www.biofermenergy.com/bioferm-system/>>, acessado em: 26/12/2017.

BIOGAS MOTORES, 2017. <<http://www.biogasmotores.com.br/produto/15-grupo-gerador-a-biogas-ggb-200>>, ACESSADO EM 26/12/2017.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 27 de agosto de 2016.

BUQUE, Lina Ivette Bartolomeu; RIBEIRO, Helena. Panorama da coleta seletiva com catadores no município de Maputo, Moçambique: desafios e perspectivas. **Saúde e Sociedade**, [s.l.], v. 24, n. 1, p.298-307, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/s0104-12902015000100023>>.

CAMPOS, Adriana Fiorotti; GALIZA, Juçara de Jesus Monteiro de. REGULAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS: ESTUDO DE VIABILIDADES EM REGIÕES DA GRANDE VITÓRIA/ES. **Revista Augustus**, [s.l.], v. 20, n. 40, p.56-69, 19 jan. 2016. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta -UNISUAM. <<http://dx.doi.org/10.15202/19811896.2015v20n40p56>>.

CAPRARA, Patrícia Tomedi; REICHERT, Geraldo Antônio. A COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

ORGÂNICOS – CONSIDERAÇÕES PARA PROJETOS FUTUROS DE UNIDADES DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM. **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Porto Alegre, nov. 2015.

CATERPILLAR, 2017. Disponível em: https://www.cat.com/pt_BR/products/new/powerystems/electric-power-generation/gas-generator-sets/18487630.html, acessado em: 26/12/2017.

COSTA, Stephanie; BARROS, Silvia Letícia Porto; FALCÃO, Viviene. A UTILIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS PRODUZIDO EM ATERROS SANITÁRIOS. **Sistema Integrado de Publicações Eletrônicas da Faculdade Araguaia – Sipe**, Goiânia, v. 3, n. 1, p.326-332, dez. 2015.

COUTINHO, Lauro Santana Freire et al. Avaliação do potencial de geração de biogás de amostras de resíduos de diferentes profundidades retiradas do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho. **Departamento de Engenharia Civil - Puc do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2011.

DEMIRBAS, A. Waste management, waste resource facilities and waste conversion process. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1280-1287, 2011.

DEUS, Ana Beatriz Souza de; LUCA, Sérgio João de; CLARKE, Robin Thomas. ÍNDICE DE IMPACTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA SAÚDE PÚBLICA (IIRSP): METODOLOGIA E APLICAÇÃO. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Caxias do Sul, v. 9, n. 4, p.329-334, out. 2004.

EGGERSMANN. The Kompoferm concepts. Innovative biogas plants for energy production from bio-waste and other organic wastes. 2013. Disponível em: <http://www.f-e.de/db/docs/KOMPOFERM-Concepts-2013_EN_web.pdf>, acessado em: 26/12/2017.

ER-BR, 2017. Disponível em: <http://www.erbr.com.br/produtos/p_geradores.php>, acessado em 26/12/2017

FRICKE, Klaus; CAMPOS, Tácio Mauro Pereira de; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo. **Capacitação e pesquisa fundamental, a fim de gerar metodologia de análise para o desenvolvimento de projeto para uma instalação de Tratamento Mecânico Biológico (TMB) com fermentação integrada na cidade de Jundiaí.** Jundiaí, SP: i-NoPa – Programa Novas Parcerias Integradas, 2015.

GODECKE, Marcos Vinicius; NAIME, Roberto Harb; FIGUEIREDO, João Alcione Sganderla. O CONSUMISMO E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Cascavél, v. 8, n. 8, p.1700-1712, 11 jan. 2013. Universidad Federal de Santa Maria. <<http://dx.doi.org/10.5902/223611706380>>.

GOMES, Eduardo R.; STEINBRÜCK, Melissa Abla. OPORTUNIDADES E DILEMAS DO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL À LUZ DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (LEI N. 12.305/2010). **Confluências**, Niterói, v. 14, n. 1, p.100-114, dez. 2012.

GOMES, F. Biometanização Seca de Resíduos Sólidos Urbanos: O Estado da Arte e uma Análise Crítica das Principais Tecnologias. 2010. 198p. Dissertação Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG 2010.

GOMES, Luciana Paulo et al. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.449-462, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000120751>>.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva**, São Paulo, p.1503-1510, 26 abr. 2012.

JACOBI, Pedro R.; BESEN, Gina Rizpah. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO: avanços e desafios. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 20, n. 2, p.90-104, jun. 2006.

LEITE, Valderi Duarte et al. BIOESTABILIZAÇÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS:: ASPECTOS QUANTITATIVOS. **Tecno-IÓgica**, Santa Cruz do Sul, v. 18, n. 2, p.90-96, jul. 2014.

LEME, S. M. Comportamento da População Urbana no Manejo dos Resíduos Sólidos Domiciliares em Aquidauana – MS. *Geografia* - v. 18, n. 1, jan./jun, p.157-192, 2009. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>. Acesso em: 18 abr. 2016.

LIMA, Danilo de Brito. **Metodologias para Comprovação de Disponibilidade Energética do Combustível para Empreendimento a Incineração de RSU, Biogás e Gás de Aterro**. Brasília: Giz, 2017. 71 p.

LIMA, José Dantas de et al. Uso de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio Grande do Sul, v. 19, n. 1, p.33-42, jan. 2014.

LOURENÇO, Joaquim Carlos; BARBOSA, Marx Prestes; CIRNE, Luiza Eugênia da M. Rocha. Educação Ambiental como Atividade de Gestão dos Resíduos Sólidos: Uma análise do Plano Municipal de Gestão Integrada de Campina Grande-PB. **Ambientalmente sustentable**, Campina Grande, v. 2, n. 20, p.69-87, 01 dez. 2015.

MARCHEZETTI, Ana Lúcia; KAVISKI, Eloy; BRAGA, Maria Cristina Borga. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p.173-187, jun. 2011.

MÜNNICH, Kai. **Manual de Capacitação Laboratorial**. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015.

NAIME, Roberto; ABREU, Eduardo Figueiredo. Avaliação do Potencial de Reciclagem na Cidade de Cuiabá-MT. **Uniciências**, Novo Hamburgo, v. 14, n. 1, p.147-165, jan. 2010.

PASCHOALIN FILHO, João et al. Comparação entre as Massas de Resíduos Sólidos Urbanos Coletadas na Cidade de São Paulo por Meio de Coleta Seletiva e Domiciliar. **Geas**, [s.l.], v. 3, n. 3, p.19-33, 1 dez. 2014. University Nove de Julho. <<http://dx.doi.org/10.5585/geas.v3i3.208>>.

ROBRA, Sabine. Gestão sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos: Transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil. *Biogás for Energy Production*, Braunschweig: TechnischeUniversitätBraunschweig, 2015.

SCHMID, W. Biokraftstoffe aus Biomüll am Beispiel des Kompogas-Verfahrens
SILVA, Gardenia Azevedo; MORAIS JUNIOR, Joácio Araújo; ROCHA, Elisângela Rodrigues. Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.11-16, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41520201600100134484>>.

WALDMAN, Maurício. RECICLAGEM, CATADORES E GESTÃO DO LIXO: DILEMAS E CONTRADIÇÕES NA DISPUTA PELO QUE SOBRA. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 1, n. 93, p.131-146

ANEXOS

Planilha 2 – Acompanhamento diário.

| Data | Hora | Press. Atm. | Temp. | Volume de gás | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-------------|-------|---------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | | | | Coluna 1 | | Coluna 2 | | Coluna 3 | | Coluna 4 | | Coluna 5 | | Coluna 6 | | Coluna 7 | | Coluna 8 | |
| | | | | antes | depois | antes | depois | antes | depois | antes | depois | antes | depois | antes | depois | antes | depois | antes | depois |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Autor, adaptado de MÜNNICH, 2015.