

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Fernanda Ribas Tweedie de Mattos**

**BIOGÁS: ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E  
PROPOSTA DE APROVEITAMENTO, ATRAVÉS DO USO DE  
BIODIGESTORES, PARA O MUNICÍPIO DE FELIZ/RS**

Porto Alegre  
julho 2014



FERNANDA RIBAS TWEEDIE DE MATTOS

**BIOGÁS: ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E  
PROPOSTA DE APROVEITAMENTO, ATRAVÉS DO USO DE  
BIODIGESTORES, PARA O MUNICÍPIO DE FELIZ/RS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

**Orientador: Miguel Aloysio Sattler**

Porto Alegre

julho 2014



**FERNANDA RIBAS TWEEDIE DE MATTOS**

**BIOGÁS: ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E  
PROPOSTA DE APROVEITAMENTO, ATRAVÉS DO USO DE  
BIODIGESTORES, PARA O MUNICÍPIO DE FELIZ/RS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande Sul.

Porto Alegre, julho de 2014

Prof. Miguel Aloysio Sattler  
PhD. pela University of Sheffield/UK  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Dra. pelo PPGA/UFRGS  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Luiz Olinto Monteggia (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade de Newcastle/UK

**Profa. Ana Carolina Badalotti Passuello (UFRGS)**  
Dra. pela Universitat Rovira i Virgili/Espanha

**Profa. Eugenia Aumond Kuhn (UNIRITTER)**  
Dra. pelo NORIE/UFRGS



Dedico este trabalho à minha mãe, Dora.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Miguel Aloysio Sattler, orientador deste trabalho, por toda colaboração, paciência e entusiasmo ao orientar este trabalho de conclusão de curso, transmitindo uma parcela de seus conhecimentos e instigando a busca de uma engenharia sustentável e consciente. Agradeço a professora Eugênia Kuhn, pela atenção e colaboração. Agradeço a professora Carin Maria Schmitt, pela dedicação e colaboração neste trabalho, através da Coordenação da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, que foi de extrema importância para a realização deste trabalho.

Agradeço ao corpo docente da Escola de Engenharia da UFRGS. Agradeço aos professores Roberto Rios e Ruy Menezes, pelas excelentes aulas, que incentivaram ao gosto pelo curso de Engenharia Civil, e também pelas pequenas conversas trocadas, sobre assuntos diversos, durante os encontros ao acaso nos corredores da Escola de Engenharia, que serviram de descontração em momentos de ansiedade e tensão, com conselhos úteis e pertinentes.

Agradeço, principalmente, à Dimitrius Carravetta da Costa, por estar ao meu lado em todos os momentos difíceis, mostrando-se um companheiro terno e fiel. Agradeço a Thatianne da Rocha Alves. Agradeço a Dona Iraí Aristimunha e a Jéssica Balbinot por me receberem em sua casa durante o período de realização do trabalho. E agradeço à colega Monique Sieben, pela companhia e amizade fiel durante a vida acadêmica, compartilhando junto grande parte das atividades acadêmicas, desde a aprovação no vestibular.



Educação não transforma o mundo.  
Educação muda pessoas. Pessoas transformam o mundo.

*Paulo Freire*



## RESUMO

Este trabalho trata do uso de biogás como fonte alternativa de energia, através do uso de biodigestores, propondo uma solução de aproveitamento através do gás emitido da biodigestão do esterco animal no município de Feliz/RS. A partir da revisão bibliográfica e acompanhamento de estudo protípico realizado em propriedade rural, foi estimado o volume de biogás para o Município que agrega potencial energético correspondente a 3,84% da matriz energética local. A partir de critérios de sustentabilidade de recursos energéticos e características do Município, tais como: consumos energéticos, economia local, clima da região e manejo de animais, se propôs um sistema de aproveitamento energético do potencial do biogás estimado através da implantação de sistemas de biodigestores de forma descentralizada, em que o gás gerado seja aproveitado na forma natural, substituindo o uso de combustíveis fósseis, reduzindo o consumo de GLP em 40% no Município.

Palavras-chave: Biogás. Biodigestores. Potencial Energético de Esterco animal.  
Aproveitamento Energético.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa .....	27
Figura 2 – Preço internacional do petróleo e eventos conexos .....	30
Figura 3 – Oferta interna de energia elétrica, por fonte – 2012 .....	36
Figura 4 – Oferta interna de energia .....	37
Figura 5 – Consumo final, por fonte .....	37
Figura 6 – Sistema de captação de metano na ETE Serraria, em Porto Alegre/RS .....	44
Figura 7 – Biodigestor com simples alimentação de água quente e agitador manual, adaptado ao modelo chinês .....	54
Figura 8 – Biodigestor indiano adaptado com parede dupla preenchida com material isolante .....	55
Figura 9 – Biodigestor modelo indiano .....	57
Figura 10 – Componentes de um biodigestor modelo chinês .....	59
Figura 11 – Modelo de biodigestor horizontal .....	60
Figura 12 – Modelo de biodigestor horizontal tubular .....	61
Figura 13 – Biodigestor tipo batelada .....	62
Figura 14 – Imagem aérea de Feliz/RS, com detalhe da área mais povoada .....	63
Figura 15 – Consumos energéticos em Feliz/RS, em kWh/ano/insumo, em 2011 .....	65
Figura 16 – Planilha de acompanhamento .....	67
Figura 17 – Residência localizada na propriedade .....	68
Figura 18 – Local de escavação e área de confinamento de suínos e bovinos .....	69
Figura 19 – Área de confinamento dos bovinos/suínos .....	70
Figura 20 – Aviário da propriedade .....	70
Figura 21 – Zona de pasto dos bovinos .....	71
Figura 22 – Gráfico de contribuição potencial do biogás à matriz energética de Feliz/RS, sem aproveitamento total dos dejetos de cama de frango .....	74
Figura 23 – Gráfico de contribuição potencial do biogás à matriz energética de Feliz/RS, para aproveitamento total dos dejetos de cama de frango .....	76



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação média da vazão anual, de diferentes usinas hidrelétricas .....	33
Tabela 2 – Variação da energia média relacionada à variação da média da vazão anual	33
Tabela 3 – Volume médio diário de estrume, gerado por tipo de animal .....	34
Tabela 4 – Intervalo de tempo entre remoção de dejetos, conforme a atividade .....	48
Tabela 5 – Tempos de retenção, conforme finalidade de uso do biodigestor .....	48
Tabela 6 – Dosagem de íons influentes na formação do biogás .....	49
Tabela 7 – Percentagem média de matéria seca no esterco animal .....	50
Tabela 8 – Relação esterco/água animal para 7, 8 e 9% de conteúdo de sólidos .....	51
Tabela 9 – Volume de biogás por tonelada de estrume .....	52
Tabela 10 – Consumo médio de biogás por equipamento .....	52
Tabela 11 – Alternativas de dimensionamento de biodigestor Indiano .....	57
Tabela 12 – Consumo de energia elétrica em Feliz/RS no ano de 2011 .....	64
Tabela 13 – Consumo de outros combustíveis em Feliz/RS, em 2011 .....	64
Tabela 14 – Geração de resíduos sólidos em Feliz/RS, em 2011 .....	65
Tabela 15 – Estrume médio calculado .....	71
Tabela 16 – Quantidade útil de estrume gerado na propriedade, em kg/mês .....	72
Tabela 17 – Volume de biogás por tonelada de estrume .....	73
Tabela 18 – Representação na matriz energética para diferentes percentuais de aproveitamento de cama de frango (%) .....	75



## **LISTA DE SIGLAS**

GLP – Gás liquefeito de petróleo

GNV – Gás natural veicular

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PIB – Produto Interno Bruto

Proinfa – Programa de incentivo à fontes alternativas de energia elétrica

tep – tonelada equivalente de petróleo



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA .....</b>	<b>25</b>
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	25
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	25
<b>2.2.1 Objetivo principal .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2 Objetivos secundários .....</b>	<b>25</b>
2.3 DELIMITAÇÕES .....	26
2.4 LIMITAÇÕES .....	26
2.5 DELINEAMENTO .....	26
<b>3 FONTES DE ENERGIA .....</b>	<b>29</b>
3.1 FONTES DE ENERGIA NÃO-RENOVÁVEIS .....	29
3.2 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS .....	30
<b>3.2.1 Energia solar .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.2 Energia eólica .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.3 Hidroeletricidade .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.4 Biomassa .....</b>	<b>34</b>
3.3 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA .....	35
<b>4 BIOGÁS .....</b>	<b>39</b>
4.1 BIODIGESTÃO .....	44
<b>4.1.1 Fatores de influência da biodigestão .....</b>	<b>46</b>
4.1.1.1 Relação C/N .....	46
4.1.1.2 pH, acidez e alcalinidade .....	47
4.1.1.3 Temperatura .....	47
4.1.1.4 Taxa de carregamento .....	47
4.1.1.5 Tempo de retenção .....	48
4.1.1.6 Toxicidade .....	49
4.1.1.7 Agitação da mistura .....	49
4.1.1.8 Concentração de sólidos .....	50
4.1.1.9 Diluição .....	51
<b>4.1.2 Resíduos da biodigestão .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1.3 Potencial energético do biogás .....</b>	<b>52</b>
4.2 BIODIGESTORES .....	53

<b>4.2.1 Biodigestor contínuo .....</b>	<b>55</b>
4.2.1.1 Biodigestor indiano .....	56
4.2.1.2 Biodigestor chinês .....	58
4.2.1.3 Biodigestor horizontal .....	60
<b>4.2.2 Biodigestor estático ou batelada .....</b>	<b>61</b>
<b>5 MUNICÍPIO DE FELIZ/RS .....</b>	<b>63</b>
<b>6 ANÁLISES .....</b>	<b>67</b>
6.1 ESTUDO DE CASO: PROPRIEDADE RURAL EM FELIZ/RS .....	67
<b>6.1.1 Características da propriedade .....</b>	<b>68</b>
<b>6.1.2 Estimativa do volume de biogás para a propriedade estudada .....</b>	<b>71</b>
6.2 EXTRAPOLAÇÃO DE DADOS PARA O MUNICÍPIO .....	73
6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSTAS .....	76
<b>6.3.1 Proposta 1: Aproveitamento de estrume animal e resíduos da cama de frango .....</b>	<b>77</b>
<b>6.3.2 Proposta 2: Aproveitamento energético apenas de estrume animal .....</b>	<b>78</b>
6.4 DEFINIÇÃO DA PROPOSTA .....	79
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>81</b>
REFERÊNCIAS .....	83
APÊNDICE A: Fotos de visitas a Feliz/RS .....	87



## 1 INTRODUÇÃO

A energia, nas suas diferentes formas, é indispensável à sobrevivência humana. É necessária desde a produção de alimentos, criação de animais, transporte, manutenção das residências até o deslocamento e disposição dos resíduos sólidos urbanos. Somente no Brasil, o IBGE estima que ocorreu um aumento de aproximadamente 3 milhões e 200 mil habitantes entre 2010 e 2012 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012). Este crescimento populacional demanda maior quantidade de energia e, também, resulta em um aumento na produção de resíduos.

Com uma sociedade em crescimento e dependente do petróleo, recurso cujas reservas decairão em breve (BROWN, c2008, p. 27, tradução nossa), tendo em vista o histórico das quedas ocorridas nas crises do petróleo de 1973 e 1979, se faz necessário a construção de uma nova economia, alimentada por fontes renováveis de energia, e que possa reaproveitar e reciclar tudo (BROWN, c2008, p. 12, tradução nossa). Para isso é preciso planejar a infraestrutura das cidades de maneira a criar comunidades sustentáveis, buscando fontes alternativas de energia, métodos de gerenciamento de resíduos para reduzir a emissão de gases que provocam o efeito estufa e diminuir o impacto ambiental gerado no lançamento dos resíduos no solo.

Na matriz energética brasileira, predomina a hidroeletricidade, considerada uma energia renovável, responsável por cerca de 70,1% da geração de eletricidade no País (BRASIL, c2013, p. 16). Entretanto, para a manutenção do fornecimento deste tipo de energia ao consumidor se fazem necessários investimentos altos e de longo prazo. Dessa forma, é necessário ressaltar a grande importância do desenvolvimento de fontes energéticas alternativas. O Brasil, atualmente, apresenta entre outros mecanismos de incentivo ao uso de fontes alternativas energéticas, o Proinfa<sup>1</sup>, programa que busca promover a implantação e uso destas fontes, através da garantia de compra da energia elétrica gerada a partir de fontes alternativas por um prazo de até 15 anos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002, p. 56), que impulsionou a geração de energia a partir dos parques eólicos e

---

<sup>1</sup> Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

pequenas centrais hidrelétricas. O mecanismo mais recente, em âmbito nacional, para incentivo geração de energia a partir do biogás é o projeto Brasil-Alemanha de fomento ao aproveitamento energético de biogás (Probiogás), que se trata de um conjunto de ações, desenvolvidas em parceria com o Alemanha, em um período de 5 anos, com o intuito de ampliar o uso do potencial energético do biogás para diminuir de as emissões dos gases de efeito estufa na atmosfera (BRASIL, 2014).

O biogás, proveniente da decomposição orgânica, possui em sua composição o gás metano, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Seu potencial de aquecimento é 21 vezes maior que o do dióxido de carbono e mais prejudicial em termos de aquecimento global (ROSA, 2003, p. 96-97). Portanto, o biogás pode ser considerado uma fonte de energia sustentável, na medida em que há grandes volumes disponíveis para utilização de material orgânico em decomposição, matéria-prima para geração do gás. O uso do potencial energético existente nos resíduos orgânicos, através do biogás, está ligado a questões sociais e ambientais, combatendo a poluição, aumentando a oferta de energia e reduzindo o consumo de combustíveis fósseis.

O município de Feliz, situado no Vale do Caí, conta com uma população estimada em 13 mil habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, c2013). O setor primário tem grande representatividade, sendo que a agricultura corresponde a 33,83% da economia local, através de hortigranjeiros, avicultura e suinocultura (FELIZ, 2013c). Em propriedades rurais, há uma grande disponibilidade de matéria-prima para geração de biogás, que se explorado adequadamente pode ser utilizado diretamente na forma de gás ou convertido em energia elétrica. Portanto, o Município possui oferta de material orgânico para produção de biogás.

O presente trabalho propõe o estudo do biogás gerado a partir da decomposição de material orgânico proveniente de esterco animal em biodigestores em uma propriedade rural no município de Feliz/RS, verificando o potencial energético fornecido e propondo, através de extrapolação dos dados, uma solução de aproveitamento para esta fonte de energia alternativa na região. O trabalho se divide em sete capítulos: após esta introdução, apresenta-se no capítulo 2 as diretrizes de pesquisa, seguido do capítulo 3, sobre fontes de energia e consumos energéticos no País. O capítulo 4 versa sobre o biogás, biodigestão e biodigestores: definindo as características do gás; o processo de formação e os fatores de influência da biodigestão

além da descrição dos diferentes tipos biodigestores. O capítulo 5 refere-se às características do município de Feliz, incluindo clima e dados energéticos. O capítulo 6 trata das análises do estudo de caso na propriedade em Feliz, aponta algumas das possíveis soluções para a questão de pesquisa e define a melhor proposta de aproveitamento energético do biogás. E, finalmente, no capítulo 7, estão apresentadas as considerações finais.



## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: a partir do volume potencial de biogás estimado para o município de Feliz/RS, gerado da decomposição de material orgânico proveniente de estrume animal, qual é a melhor proposta de aproveitamento energético do gás, através do uso de biodigestores, para o município de Feliz/RS, considerando as limitações de pesquisa?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal do trabalho é a determinação do potencial energético do biogás gerado no município de Feliz/RS e a definição de proposta de aproveitamento do gás, a partir da extrapolação dos dados obtidos em estudo de caso em uma propriedade rural localizada na região.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) elaboração de planilha para acompanhamento de estudo protótipo para propriedade rural no município de Feliz/RS;
- b) verificação de possível forma de descarte do resíduo, proveniente do produto final da decomposição orgânica.

## 2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo do potencial energético do biogás no município de Feliz/RS.

## 2.4 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

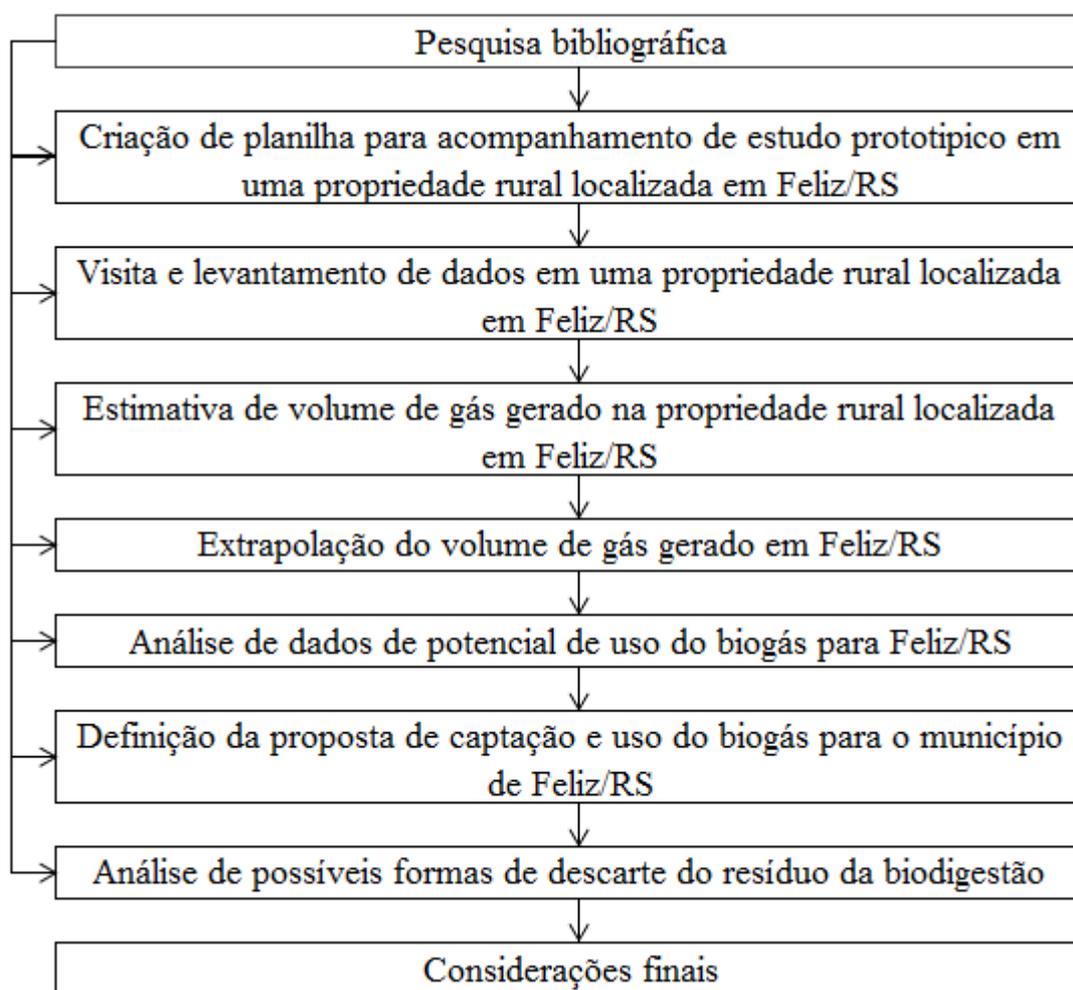
- a) estudo do potencial energético do biogás gerado a partir da decomposição de resíduos orgânicos provenientes de esterco animal no município de Feliz/RS;
- b) dados sobre produção de esterco animal no município de Feliz/RS obtidos em levantamentos realizados em outros trabalhos científicos.
- c) dados extrapolados a partir do estudo de caso em uma propriedade rural da região;

## 2.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) criação de planilha para acompanhamento de estudo prototípico em uma propriedade rural localizada no município de Feliz/RS;
- c) visita e levantamento de dados em uma propriedade rural localizada no município de Feliz/RS;
- d) estimativa de volume de gás gerado na propriedade rural localizada em Feliz/RS;
- e) extrapolação de volume de gás gerado no município de Feliz/RS;
- f) análise de dados de potencial de uso do biogás para Feliz/RS;
- g) definição da proposta de captação e uso do biogás para o município de Feliz/RS;
- h) análise de possíveis formas de descarte do resíduo da biodigestão;
- i) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

A pesquisa bibliográfica, primeira etapa do projeto de pesquisa, seguiu ao longo de todo o trabalho. Inicialmente, foi realizada pesquisa sobre os tipos de biodigestores mais conhecidos, como o modelo indiano e o chinês, incluindo suas características construtivas e modo de operação. Também realizou-se estudo sobre: energia, biodigestão e biogás. Foram pesquisados os fatores de influência na biodigestão; poder energético do metano; potencial energético do esterco animal; o histórico, uso, propriedades físicas e aplicações do biogás. Posteriormente, foi feito um estudo mais detalhado sobre o potencial energético dos dejetos animais, sobre a matriz energética do município de Feliz/RS e complementada a pesquisa sobre os itens inicialmente citados.

A criação de planilha para acompanhamento de estudo prototípico para uma propriedade rural, localizada no município de Feliz/RS, teve por objetivo apoiar a pesquisa para

determinação do potencial de biogás da propriedade do estudo e servir como base de dados para extrapolação de potencial energético para o município de Feliz/RS. A planilha contém itens como: período de acompanhamento, tipo e quantidade de animais, volume de estrume produzido por tipo e animal. A partir destes dados foi possível saber o volume potencial de biogás para uma propriedade localizada em Feliz/RS e extrapolá-los para o município com base nas informações de fontes bibliográficas para a determinação de um valor médio do potencial energético do estrume animal que foi usado para estimativa do potencial de biogás da região de estudo.

A fase final do trabalho compreendeu a análise dos dados pesquisados, que inclui a comparação do volume gerado de gás com o equivalente em eletricidade; a contribuição na matriz energética local, e a definição da proposta de captação e aproveitamento do biogás, conforme o volume estimado para o Município. E então, com a definição da proposta para aproveitamento do biogás para a região foi respondida a questão de pesquisa e realizadas, finalmente, as considerações finais do trabalho, incluindo uma descrição da destinação final do efluente gerado na decomposição da matéria orgânica.

### 3 FONTES DE ENERGIA

O engenheiro civil, assim como outros especialistas, principalmente nos dias atuais, deve estar atento as questões ambientais, procurando, nas diversas áreas de trabalho, aproveitar e explorar os recursos existentes da maneira mais eficiente e ecológica possível, isto é, visando o desenvolvimento sustentável, utilização recursos para desenvolvimento social, econômico e de infraestruturas atuais sem comprometer ou esgotar as reservas existentes, garantindo, assim, o abastecimento necessário para consumo futuro. Quando se busca o desenvolvimento sustentável, a preocupação deve recair, entre outros fatores, sobre o uso adequado dos recursos naturais, tais como: água, ar, solo e fontes de energia.

Energia, do grego, significa trabalho (WILSON, c1968, p. 12), portanto, pode ser entendido como a capacidade de um corpo de realizar trabalho. Contudo, é um conceito amplo com diversas definições adotadas. Segundo Moreno e Gonzáles (1990, p. 23, tradução nossa), “A energia é uma propriedade ou atributo de todo corpo ou sistema material em virtude da qual se pode transformar, modificando sua situação ou estado, assim como atuar sobre outros originando neles processos de transformação.”. Portanto, as fontes de energia são de vital importância para manutenção da vida e também para o desenvolvimento humano e podem ser classificadas em não-renováveis e renováveis.

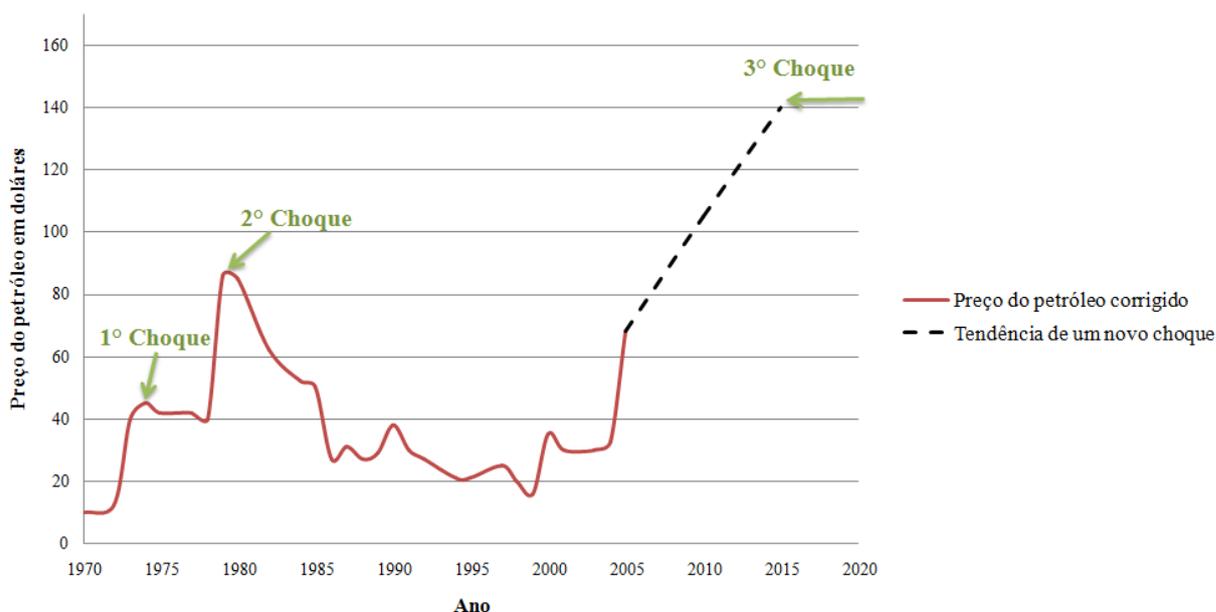
#### 3.1 FONTES DE ENERGIA NÃO-RENOVÁVEIS

São consideradas não-renováveis as fontes de energia cujos recursos naturais são limitados e não possuem capacidade de se regenerar em curto espaço de tempo, portanto, são consideradas finitas e é o caso dos combustíveis fósseis, como o petróleo e o gás natural. A sociedade vem se desenvolvendo em uma economia dependente do petróleo (BROWN, c2008, p. 27, tradução nossa), que apesar das recentes descobertas de novas reservas, como,

por exemplo, o Pré-Sal<sup>2</sup>, localizado no litoral brasileiro, as reservas conhecidas estão se esgotando.

Mostrando seu caráter limitado, tendo em vista as crises de 1973 e 1979, quando a diminuição da disponibilidade do recurso e o aumento da demanda de energia levaram o mundo a uma crise econômica, com elevação do preço do barril, o petróleo e seus derivados precisam ser substituídos por fontes de energia alternativas, para que, frente a uma nova crise energética, a sociedade sofra consequências menos bruscas. A figura 2 mostra o histórico do preço internacional do petróleo ao longo dos anos associado aos eventos de crise que já ocorreram e faz uma prospecção de um novo choque nos dias atuais.

Figura 2 – Preço internacional do petróleo e eventos conexos



(fonte: adaptado de BRASIL, c2005, p. 16)

### 3.2 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

São consideradas renováveis, limpas ou alternativas as fontes de energia cujos recursos naturais utilizados são capazes de se regenerar, tais como as energias eólica, solar, hidroeletricidade e de biomassa. No âmbito nacional, como maior instrumento de estímulo ao desenvolvimento de fontes renováveis e alternativas de energia há o Proinfa, programa de

<sup>2</sup> Pré-Sal: reserva de petróleo, localizada no litoral brasileiro, assim nomeada, pois encontra-se abaixo de uma camada de sal da crosta terrestre (PETROLEO BRASILEIRO SA, c2014a).

responsabilidade do Ministério de Minas e Energia, que é desenvolvido junto a bancos de fomento, tais como o BNDES e Banco do Brasil, a partir de linhas especiais de financiamento, como forma de estímulo à construção de empreendimentos na área de energia renovável. O programa, instaurado por Medida Provisória, garantindo a compra da energia gerada por fontes alternativas por um tempo mínimo de 15 anos, tem como objetivos (INSTITUTO AMANHÃ, 2013, p. 90):

- a) [...] diversificar a matriz energética brasileira, de forma que o abastecimento se torne mais seguro e estável.
- b) [...] valorizar diferentes [...] [ramos] de desenvolvimento de empreendimentos que se insiram na cadeia produtiva de cada região [...]
- c) [...] [estimular] a multiplicação de fontes de energias que são renováveis – e, portanto, ajudando no esforço de redução [...] das emissões de gases de causadores de efeito estufa.

No âmbito mundial, foi lançada a Década da Energia Sustentável para Todos (2014 a 2024) a fim de ressaltar a importância da energia para o desenvolvimento sustentável do Planeta (UNITED NATIONS ORGANISATION, 2012). O objetivo é o de reduzir, no mínimo, 40% das emissões de gases de efeito estufa, proveniente do uso de combustíveis fósseis para geração de energia, e para tal é necessário aumento dos investimentos em fontes renováveis de energia, que apesar da situação existente, teve seus investimentos diminuídos nos últimos anos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

Os itens 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4 descrevem brevemente as fontes de energia eólica, solar, hidroelétrica e de biomassa, respectivamente.

### **3.2.1 Energia eólica**

A energia eólica é aquela proveniente do uso da energia potencial dos ventos. Baseia-se na conversão de energia mecânica, dos ventos, em energia elétrica ou outra forma de energia. Seu aproveitamento é dependente das características de cada região, isto é, pode ser explorada apenas em locais onde a ocorrência dos ventos gere potência viável à extração de energia (FARRET, 1999, p. 63). Estudos apontam que o País, apresentará declínio no potencial de uso dessa fonte, tendo em vista que projeções apontam para algumas regiões “[...] menores

ocorrências de vento com velocidade superior a 6m/s, o mínimo considerado favorável para a produção de energia.” (RIBEIRO, 2008, p. 32).

### **3.2.2 Energia solar**

Segundo Farret (1999, p. 96), “O Sol é uma fonte perene, silenciosa, gratuita e não poluente de energia e é responsável por todas as formas de vida do planeta.”. A energia solar pode ser aproveitada diretamente, através da captação da radiação, servindo para aquecimento de líquidos, habitações, etc.; e indiretamente, através da conversão em eletricidade, a partir de painéis fotovoltaicos. O uso deste tipo de energia depende do clima, da quantidade de radiação incidente e da área de superfície exposta à radiação solar. Por exemplo, regiões de clima frio ou dias nublados, por receberem menor radiação solar, têm potencial energético menor do que regiões de clima quente ou dias claros.

### **3.2.3 Hidroeletricidade**

A hidroeletricidade é baseada na conversão de energia hidráulica em energia elétrica. No País, a água é um recurso muito abundante e, por isso, a exploração da energia vinda deste recurso é amplamente utilizada. Apesar de ser uma energia considerada limpa, ela depende da disponibilidade do recurso natural, que pode variar sazonalmente em função do clima e hidrologia local. No início do ano de 2013, o País confrontou-se com uma época de poucas chuvas, ocasionando baixa nos reservatórios das hidrelétricas fazendo com que “[...] o risco de racionamento assombrasse o País.” (INSTITUTO AMANHÃ, 2013, p. 91). Contudo, não ocorreu racionamento, tendo em vista que as chuvas aumentaram e a previsão de crescimento econômico foi menor do que o esperado, tendo a demanda de energia se estabilizado e a situação de risco que poderia levá-lo a uma situação de déficit energético mudou. Caso a demanda de energia fosse maior que a capacidade de oferta, o País teria que realizar racionamento de energia, assim como ocorreu em 2001 (INSTITUTO AMANHÃ, 2013, p. 91).

Já em 2014, o consumo de energia elétrica no País aumentou consideravelmente, registrando o verão mais quente dos últimos anos, e conseqüentemente aumentando a demanda de energia, por exemplo, através do uso mais frequente de ar condicionado. Além disso,

ocorreram mudanças nos ciclos das chuvas do País e os reservatórios de água das hidrelétricas estão em níveis baixos. O racionamento de energia não ocorre ainda, pois usinas térmicas a gás, óleo e carvão estão sendo mantidas em funcionamento para evitar desabastecimentos energéticos (TRIGUEIRO, 2014). Estudos mostram que a vazão anual média das usinas hidrelétricas está relacionada à oferta de energia e, portanto, (RIBEIRO, 2008, p. 21):

Os impactos que a mudança do clima global podem ter sobre o sistema hidrelétrico brasileiro viriam das alterações no comportamento médio das vazões nas bacias dos rios que produzem energia, ou de alterações na probabilidade de ocorrência de eventos extremos (como tempestades e secas extremas), que poderiam prejudicar a operação das usinas. [...]

A tabela 1 mostra uma tendência de diminuição nas vazões anuais médias de usinas, que estão associadas à diminuição de produção de energia nas hidrelétricas, visto na tabela 2, considerando duas situações diferentes, a primeira (situação 1) considera, “[...] crescimento populacional [...] rápido, e [...] desenvolvimento econômico [...] lento, assim como a adoção de tecnologias novas. As necessidades energéticas são atendidas com uso intensivo de combustíveis fósseis.”. A segunda (situação 2), considera “[...] [desequilíbrio no] uso de inovações tecnológicas. As soluções para o desenvolvimento econômico, social e ambiental são locais e díspares. Em algumas regiões, novas tecnologias se desenvolvem rapidamente e em outras [...] [são] empregadas técnicas antiquadas.” (RIBEIRO, 2008, p. 13).

Tabela 1 – Variação média da vazão anual, de diferentes usinas hidrelétricas

BACIA	Situação 1	Situação 2
Rio Paraná	-2,40%	-8,20%
Grande	1,00%	-3,40%
Paranaíba	-5,90%	-5,90%
Parapanema	-5,00%	-5,70%
Parnaíba	-10,10%	-10,30%
São Francisco	-23,40%	-26,40%
Tocantins-Araguaia	-14,70%	-15,80%
MÉDIA	-8,60%	-10,80%

(fonte: adaptado de RIBEIRO, 2008, p. 22)

Tabela 2 – Variação da energia média relacionada à variação da média da vazão anual

BACIA	Situação 1	Situação 2
Rio Paraná	0,70%	-1,20%
Grande	0,10%	-0,80%
Paranaíba	-1,40%	-1,90%
Paranapanema	-1,40%	-2,50%
Parnaíba	-0,80%	-0,70%
São Francisco	-4,30%	-7,70%
Tocantins-Araguaia	-0,10%	-0,30%
MÉDIA	-1,00%	-2,20%

(fonte: adaptado de RIBEIRO, 2008, p. 31)

### 3.2.4 Biomassa

A biomassa é definida como “[...] toda matéria agrícola constituída por microorganismos, plantas e animais [...]” (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, 1981, p. 3, tradução nossa). Segundo a Agência Nacional da Energia Elétrica (2008, p. 65):

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Dela é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol [...].

Mas, se atualmente a biomassa é uma alternativa energética de vanguarda, historicamente tem sido pouco expressiva na matriz energética mundial.

A biomassa pode ser classificada em: “[...] tradicional, onde fazem parte a lenha, o carvão vegetal, a palha e a casca de arroz, resíduos vegetais e animais, [e] [...] moderna, onde estão inseridos os resíduos da utilização industrial da madeira, bagaço de cana, culturas energéticas e resíduos urbanos.” (SOUZA; COSTANZI, 2001, p. 338). O estrume animal, também considerado biomassa tradicional. A tabela 3 mostra o volume médio de estrume gerado por tipo de animal, ou seja, a biomassa composta apenas de fezes de animais (SGANZERLA, 1983, p. 12).

Tabela 3 – Volume médio diário de estrume gerado, por tipo de animal

Animal	Produção dejetos/dia (kg)
Bovinos	10,00
Equinos	10,00
Ovinos	2,80
Suínos	2,25
Aves	0,18

(fonte: SGANZERLA, 1983, p. 12)

As principais maneiras de aproveitamento da energia de biomassa são (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, 1981, p. 3, tradução nossa):

- a) o cultivo de plantas com o objetivo proposital de explorar o potencial energético da biomassa, como, por exemplo, as plantações de cana de açúcar e milho para produção de biocombustível;
- b) a exploração dos dejetos da agricultura, lenha, resíduos e dejetos orgânicos, como, por exemplo o aproveitamento de estrume animal ou restos orgânicos para produção de biogás.

No cenário atual, o País possui grande potencial de uso de biomassa, contando com “[...] 388 milhões de hectares de terras aráveis férteis e com alto potencial de produção [...] Desse total, 90 milhões de hectares ainda não são explorados. Isso faz do Brasil um dos países mais propícios para o cultivo de biomassa para alimentação e para produção de energia.” (RIBEIRO, 2008, p. 41). O potencial energético proveniente da biomassa também pode ser explorado a partir de resíduos sólidos urbanos a partir da incineração e através da “[...] recuperação do biogás gerado pela decomposição natural de resíduos orgânicos.” (RIBEIRO, 2008, p. 58).

Recentemente, no estado do Rio Grande do Sul, as elevadas temperaturas associadas a recorrentes desabastecimentos energéticos teve como consequência inúmeras mortes de frangos em aviários, devido ao excessivo aquecimento do ambiente (PREJUIZOS, 2014). O uso da biomassa, proveniente da cama de frango, como matéria-prima para geração de biogás é uma alternativa energética que deve ser considerada para climatização dos aviários tendo em vista os fatos ocorrentes.

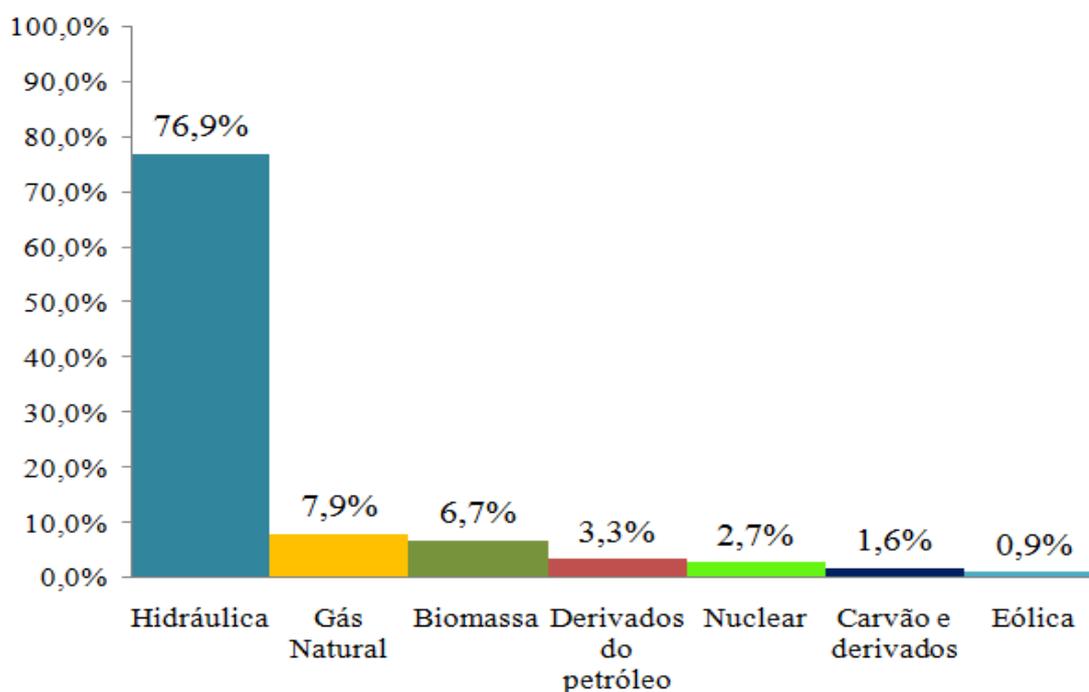
### 3.3 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Segundo Tolmasquim et al. (2007, p. 50):

O uso de energia no Brasil começou a apresentar incrementos elevados a partir do término da II Guerra Mundial, impulsionado pelo expressivo crescimento demográfico, por uma urbanização acelerada, pelo processo de industrialização e pela construção de uma infraestrutura de transporte rodoviário de característica energo-intensiva.

Na matriz energética do Brasil predomina a hidroeletricidade, que incluindo a importação de energia, representa cerca de 76,9% da eletricidade do País. A figura 3 mostra composição da oferta interna de energia elétrica do País, no ano de 2012, sendo que o percentual referente a energia do carvão e derivados inclui a produção de gás de coqueria e a parcela de contribuição de oferta de biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações de resíduos orgânicos (BRASIL, c2013, p. 16).

Figura 3 – Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2012

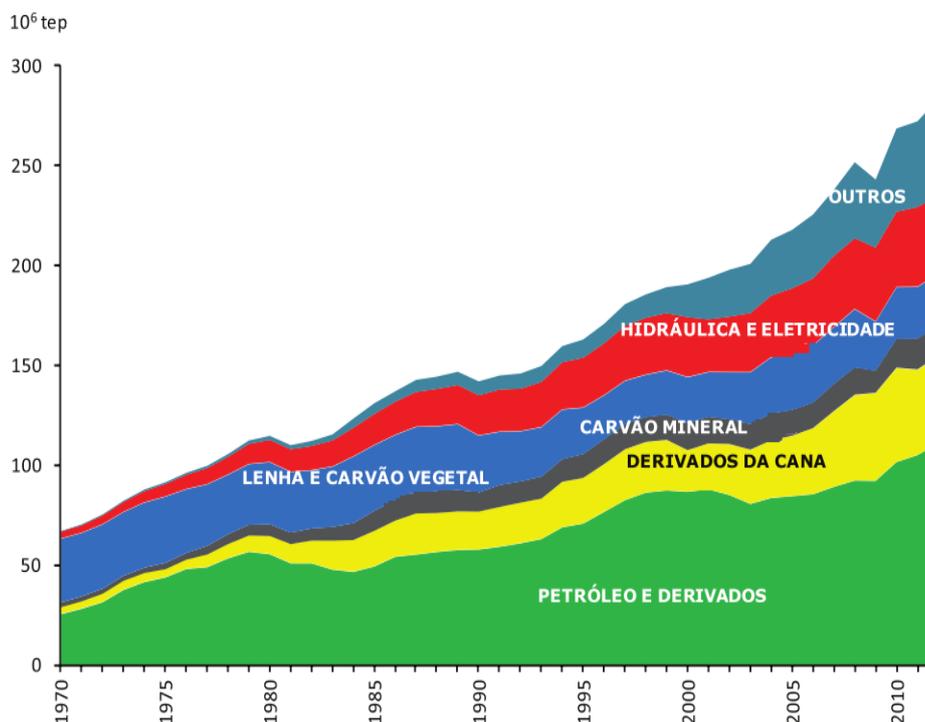


(fonte: adaptado de BRASIL, c2013, p. 16)

Ao longo dos anos, ocorreu um aumento de geração de energias renováveis no País, que pode ser observada na figura 4. Observa-se a evolução da oferta de energia interna entre os anos de 1970 e 2012, em toneladas equivalentes de petróleo (tep), sendo que a parcela referente a

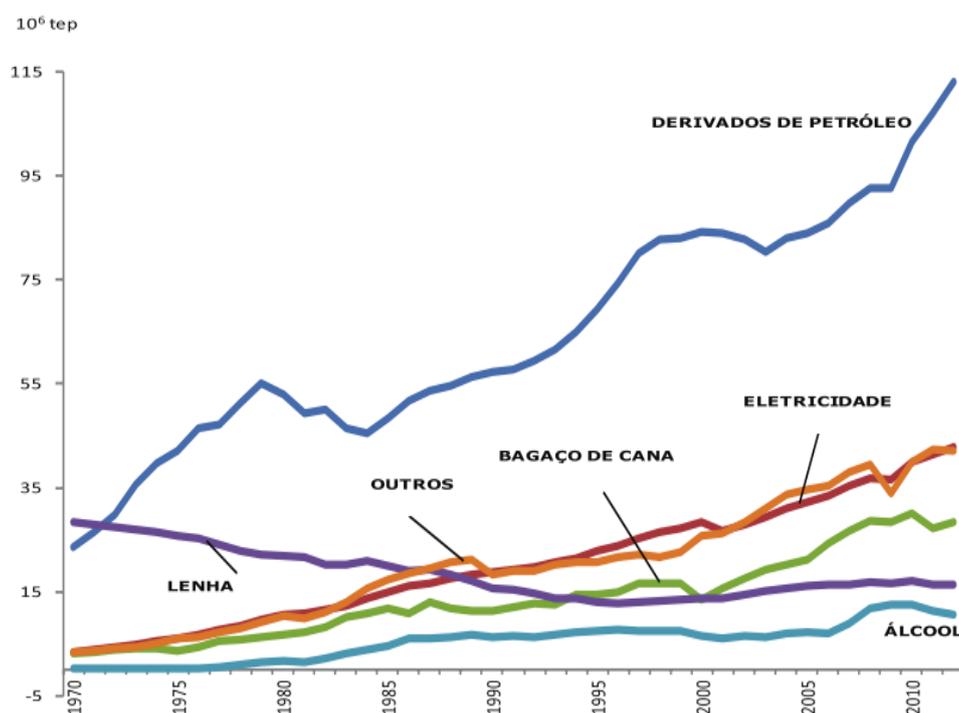
outras fontes de energia renováveis incluiu a geração de energia a partir de resíduos vegetais, industriais e outros resíduos orgânicos, através do biogás. Apesar do aumento da geração interna de fontes renováveis, o consumo final de energia é na sua maioria de combustíveis fósseis. A figura 5 mostra a evolução da demanda de consumo final de energia por fonte no País, em tep, sendo a fonte de energia denominada outras aquelas que incluem a participação do biogás, e dá um panorama da situação atual do consumo de diferentes fontes no País.

Figura 4 – Oferta interna de energia



(fonte: adaptado de BRASIL, c2013, p. 22)

Figura 5 – Consumo final, por fonte



(fonte: adaptado de BRASIL, c2013, p. 24)

Frente a uma economia dependente de combustíveis fósseis e uma matriz energética com pequena representação de fontes energéticas provenientes de biomassa, se faz necessário o estudo e uso dessa fonte alternativa de energia para produção de biogás. E assim, aproveitando o imenso potencial que o País possui para geração de biogás, tendo em vista que a agricultura brasileira representa cerca de 26,5% do PIB na economia nacional (BRASIL, 2010a).

## 4 BIOGÁS

A poluição ambiental é um problema mundial e pode estar associada, além dos desequilíbrios ambientais existentes, a uma série de doenças humanas, tais como câncer e anomalias genéticas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Ocorre devido a diversos fatores, como por exemplo, a emissão de gases poluentes e o descarte inapropriado de resíduos de lixo urbano doméstico, industrial e rural, causando a contaminação do solo, água e atmosfera.

O biogás é uma mistura de gases obtida a partir da decomposição anaeróbia de material orgânico animal ou vegetal, que pode ser proveniente de estrume animal, resíduos sólidos de lixo urbano; lodo de esgoto; restos de alimentos; efluentes industriais como vinhaça; restos de vegetais, incluindo biomassa, como bagaço de cana, restos de matadouros e resíduos de curtumes (ABASSI et al., c2012, p. 1, tradução nossa). O aproveitamento do potencial energético do biogás, através do lodo de esgoto, além evitar a poluição ambiental “[...] [tendo em vista] a deficiência de tratamento de esgotos no Brasil [...] [ser] muito grande, [...] o uso de biogás para eletricidade pode ajudar a reduzir os custos de operação de estações de tratamento e estimular a construção de novas estações.” (RIBEIRO, 2008, p. 59).

A mistura de gases é formada basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) na concentração de 40 a 70% (ABASSI et al., c2012, p. 1, tradução nossa), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e traços de outros gases, como nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), conforme o material orgânico de origem (FARRET, 1999, p. 124). Alguns dos efeitos dos gases formadores do biogás sobre o organismo humano são (FERRAZ; MARRIEL, 1980, p. 11):

- a) metano: sensação de asfixia e dor de cabeça;
- b) dióxido de carbono: asfixia, sonolência e dor de cabeça;
- c) gás sulfídrico: irritação nos olhos e nariz, dor de cabeça, vertigem, náusea, excitação, inconsciência.

O gás metano é um dos gases causadores do efeito estufa e, à temperatura ambiente, tem as seguintes propriedades: “[...] incolor, inodoro, insípido, solúvel em água em cerca de 20 vezes o seu volume [...]” (BRASIL, 1981, p. 4). Além disso, o gás possui alto poder calorífico e

“[...] quando entra em combustão, apresenta uma chama azul-lilás com pequenas manchas vermelhas [...]” (FARRET, 1999, p. 125).

O gás metano, também conhecido por biogás, tem seu histórico descrito a seguir (BRASIL, 1981, p. IV):

Identificado pela primeira vez em 1776 por Alessandro Volta, na Itália, como resultado da decomposição de resíduos vegetais em ambientes confinados. Em 1806, na Inglaterra, Humphrey Davy, identificou um gás rico em carbono e dióxido de Carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos.

Em 1889, Gayon, membro da Sociedade de Ciências Físicas e Naturais de Bórzeos, verificou que o gás formado pela decomposição do estrume a 35°C possuía propriedades combustíveis e já munido dos conhecimentos divulgados por Louis Pauster, atribuiu essa formação de gás a atividade de bactérias anaeróbias. Em seguida, experiências foram feitas por Schloessing, na Alemanha, e Beherain e Dupont, na França, sobre a temperatura apropriada a melhor produção do gás.

Mas só em 1920, o assunto foi devidamente estudado na Alemanha pelo Eng. Dr. Karl Imnhoff, nos seus trabalhos sobre lodos decantados dos esgotos domésticos. Ele estabeleceu um método contínuo de decomposição, introduzindo, periodicamente, pequenas quantidades de lodo numa grande massa de substância em decomposição anaeróbia. A partir daí, o caso foi se desenvolvendo, pois o gás produzido foi utilizado no aquecimento das unidades de estações de esgoto e também como combustível para motores existentes nessas estações.

Mas foi na Ásia que a técnica de fabricação de biogás mais se desenvolveu principalmente na China, onde se criou um modelo de biodigestor caracterizado principalmente por sua construção totalmente subterrânea e pela ausência de gasômetro.

O metano é gerado a partir de diversas fontes diferentes, segundo Abassi et al. (2012, p. 27, tradução nossa):

O metano é emitido a partir de uma variedade de fontes, antropogênicas (relacionadas ao homem) e naturais. Atividades antropogênicas incluem a produção de combustíveis fósseis, produção animal (fermentação entérica do gado e manejo de dejetos), a agricultura (especialmente sistemas de cultivo de arroz), queima de biomassa e tratamento ou disposição para biodegradáveis líquidos ou resíduos sólidos. [...].

Metano também é liberado de forma natural a partir de zonas úmidas, hidratos gasosos, de solos permanentemente congelados, cupins e animais silvestres ruminantes, oceanos, água doce, os solos não-úmidos, e outras fontes, tais como decomposição vegetal e incêndios florestais.

O biogás é um gás poluente, mas com alto poder energético, que dependendo da quantidade de metano de sua composição, pode atingir poder calorífico de 5.000 a 6.000 kcal/m<sup>3</sup> (FARRET, 1999, p. 125) e, portanto, se capturado e utilizado adequadamente, pode ser

utilizado como fonte de energia alternativa. Se comparado com outros combustíveis, nota-se que o biogás tem bom potencial de aquecimento e se assemelha ao gás natural veicular (GNV) e ao gás liquefeito de petróleo (GLP) em relação à queima, pois não libera fuligem e nem mau cheiro, com a diferença de apresentar poder calorífico menor.

Segundo Farret (1999, p. 124):

A utilização da biomassa na obtenção de energia representa uma fonte alternativa de grande eficiência na substituição do petróleo. Na área urbana, além de produzir energia, seu grande benefício é a utilização de enormes quantidades de lixo orgânico ou de efluentes líquidos, como, por exemplo, resíduos industriais, esgotos e lixeiras, que deixam de agredir a natureza e podem ser transformados em combustíveis industriais ou automotivos.

O uso da biomassa e de biodigestores apresenta notável vantagem na área rural, onde as sobras de resíduos culturais e dejetos de animais podem ser utilizados para obter o biofertilizante, que é o material orgânico processado no biodigestor e usado como adubo.

O biogás pode ser utilizado diretamente, isto é, seu uso pode ser realizado sem que haja qualquer processo de purificação ou equipamento de conversão. Algumas situações possíveis de uso direto estão listadas abaixo (LUCAS JÚNIOR et al., 2003):

- a) em fogões a gás, em substituição ao GLP ou lenha, desde que os fogões sejam adaptados para tal;
- b) em lâmpíões. em substituição a querosene ou outro combustível;
- c) no aquecimento de água em residências;
- d) em campânulas para aquecimento dos aviários. Neste caso, a própria cama de frango, composta pelo estrume animal e pela maravalha, podem servir como fonte de matéria-prima para geração do gás.

Pode, também, ser utilizado indiretamente, isto é, convertido em outra forma de energia, com necessidade de prévio tratamento ou equipamento para remoção de impurezas antes do uso. Algumas das possíveis utilidades são:

- a) no acionamento de motores e geradores, em substituição à gasolina, álcool ou diesel, para geração de energia elétrica, sendo que para este uso os equipamentos devem estar adaptados à utilização do biogás (LUCAS JÚNIOR et al., 2003);
- b) no acionamento de motores e geradores, em substituição à gasolina, álcool ou diesel, para geração de energia elétrica, sendo que para este uso os

equipamentos devem estar adaptados à utilização do biogás (LUCAS JÚNIOR et al., 2003);

- c) como combustível para veículos automotivos, em substituição a combustíveis fósseis, neste caso há necessidade de filtros e motores adaptados à utilização do gás (BRASIL, 1981, p. 13).

O biogás pode ser convertido em energia elétrica, através das seguintes tecnologias (OLIVEIRA<sup>3</sup>, 2004 apud KUNZ; OLIVEIRA, 2006, p. 32-33, grifo do autor):

- a) **conjunto gerador de eletricidade:** consiste em um motor de combustão interna [de] Ciclo *Otto* (álcool, gasolina ou diesel), adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um gerador de eletricidade, independente da rede de energia elétrica da concessionária local;
- b) **conjunto gerador economizador de eletricidade:** consiste em um motor de combustão interna [de] Ciclo *Otto* (álcool, gasolina ou diesel), adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um motor assíncrono, de dois ou quatro pólos, que passa a gerar energia ao ser conectado à rede de energia elétrica da concessionária local.

A diferença entre os conjuntos geradores é descrita por Kunz e Oliveira (2006, p. 32-33) como:

[...] o conjunto [gerador de eletricidade] é independente da rede de energia elétrica local, gerando energia dentro de propriedade, com o sistema de distribuição interno isolado [...] [No conjunto gerador economizador de eletricidade] o equipamento gera energia somente se estiver conectado à rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, deixando de funcionar se a mesma sofrer interrupção, o que elimina possibilidades de acidentes quando técnicos estiverem trabalhando na manutenção nas redes elétricas externas. Neste caso, a energia gerada é distribuída na propriedade e na rede externa até o transformador mais próximo.

O biogás também pode ser transformado em energia térmica, que se comparada à energia elétrica, apresenta rendimento maior, conforme Kunz e Oliveira (2006, p. 33): “[...] o rendimento [...] gira em torno de 25%, contra 65%, quando transformada em energia térmica. A seu favor, a energia elétrica tem o fato de ser um tipo de energia de fácil utilização [...]”.

O aproveitamento do biogás, através do uso de biodigestores, já ocorre, no País e no mundo. Biodigestores têm sido mais usados a partir de resíduos de origem rural, como despejos de animais e restos agrícolas (GIACAGLIA; DIAS, 1993, p. 2). Alguns dos locais onde a captura de biogás a partir de estrume animal está sendo realizada são:

---

<sup>3</sup> OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In:\_\_\_\_\_. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos:** manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa, 2004, p. 43-55.

- a) Canadá: tem realizado o aproveitamento do gás devido ao fato do aumento do preço da energia elétrica e, também, devido às questões ambientais associadas (ABASSI et al., c2012, tradução nossa);
- b) Holanda: região onde existe a maior usina de captação de biogás, a partir de esterco, exclusivamente proveniente da avicultura (ABASSI et al., c2012, tradução nossa);
- c) Dinamarca: região com uma das maiores usinas de captação do planeta (ABASSI et al., c2012, tradução nossa);
- d) China: pioneira na tecnologia do biogás, apresenta duas usinas de captura de biogás de destaque (ABASSI et al., c2012, tradução nossa):
  - *Chicken Farm Dequingyuan* que trata os dejetos de 3 milhões de frangos para geração de biogás e eletricidade.
  - *Liaoning Huishan Cow Farm* que aproveita o estrume de, aproximadamente, 60 mil vacas para geração de energia elétrica.
- e) Alemanha: usina Könnern, que possui tecnologia necessária para distribuir o biogás a regiões distantes de onde é produzido (INFINITYBIOPOWER, c2014).
- f) Brasil: Granja de Colombari, localizada no Paraná, onde o esterco de suínos é convertido em energia elétrica (ITAIPU BINACIONAL, 2010).

No município de Porto Alegre, também há possibilidade de aproveitamento de biogás; neste caso a partir de resíduo orgânico de efluentes sanitários. A estação de tratamento de efluentes da Serraria possui parte do tratamento baseado em técnicas anaeróbias, com bactérias metanogênicas. O sistema possui canais de captação de biogás, em que os dutos direcionam o gás até equipamentos chamados de Flares, utilizados para queima do gás, e não liberação na atmosfera. Esse gás poderia ser reaproveitado para uso na própria estação. A figura 6 mostra o sistema de captação do biogás e os dutos que direcionam o gás para queima.

Figura 6 – Sistema de captação de metano na ETE Serraria, em Porto Alegre/RS



(fonte: foto da autora)

Apenas 25,6% do esgoto produzido no País é coletado, e somente 54% deste é tratado, apresentando um potencial de geração de energia, a partir do biogás, de 17.370 kW. Se todo o esgoto coletado fosse tratado, o potencial seria de 32.181 kW, e se todo esgoto produzido fosse coletado e tratado, este potencial de biogás, convertido em energia elétrica seria ainda maior, em torno de 67.850 kW (RIBEIRO, 2008, p. 59).

#### 4.1 BIODIGESTÃO

A biodigestão é o processo de decomposição orgânica que ocorre na ausência de oxigênio livre, também é chamado de digestão anaeróbia (ABASSI et al., c2012, p. 2, tradução nossa). Trata-se de uma reação de fermentação bacteriana que “[...] leva à quebra de complexos orgânicos biodegradáveis [...]” (ABASSI et al., c2012, p. 2, tradução nossa). As bactérias envolvidas na biodigestão, responsáveis pela formação do biogás, são organismos anaeróbios,

incluindo bastonetes, coccus e micrococcus, caracterizados por serem inertes, não liberam esporos e se desenvolvem lentamente (FERRAZ; MARRIEL, 1980, p. 14). A digestão anaeróbia ocorre nas quatro etapas descritas a seguir, conforme Abassi et al. (2012, p. 2-3, tradução nossa):

- a) hidrólise: macromoléculas de proteínas, gorduras, carboidratos e polímeros (por exemplo, celulose e amido) são decompostos por meio da hidrólise de aminoácidos de cadeia longa, ácidos graxos e açúcares;
- b) acidogênese: estes produtos são, então, fermentados durante a acidogênese para formar ácidos graxos voláteis, principalmente ácido lático, propiônico, butírico, valeriano;
- c) acetogênese: bactérias consomem estes produtos da fermentação e geram o ácido acético, o dióxido de carbono e hidrogênio;
- d) fase metanogênica: organismos metanogênicos consomem o ácido acético, o hidrogênio e uma parte do dióxido de carbono para produzir metano. Três caminhos bioquímicos são usados na fase metanogênica:
  - caminho acetotrópico ( $4\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{CH}_4$ ),
  - caminho hidrogenotrópico ( $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ),
  - caminho metilotrópico ( $4\text{CH}_3\text{OH} + 6\text{H}_2 \rightarrow 3\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Onde:

$4\text{CH}_3\text{COOH}$  – ácido acético;

$\text{CO}_2$  – dióxido de carbono;

$\text{CH}_4$  – metano;

$\text{H}_2$  – hidrogênio;

$\text{H}_2\text{O}$  – molécula de água;

$\text{CH}_3\text{OH}$  – metanol.

Outros autores descrevem a biodigestão em três fases. Conforme Farret (1999, p. 127-128), o processo se divide nas seguintes etapas:

- a) sólida: bactérias comuns decompõem carboidratos, lipídios e proteínas, produzindo ácidos graxos, glicose e aminoácidos;
- b) líquida: bactérias acetogênicas, chamadas de propion-bactérias, decompõem o produto, resultante da etapa sólida, em ácido propiônico, ácido acético e, ainda, liberam dióxido de carbono, acetatos e gás de hidrogênio;
- c) gasosa: bactérias metanogênicas decompõem o produto da etapa líquida e formam o biogás.

O processo de biodigestão é influenciado por determinados fatores, descritos a seguir, no subitem 4.1. O efluente do processo está descrito no subitem 4.2.

#### 4.1.1 Fatores de influência na biodigestão

Para que o processo de digestão anaeróbia ocorra de maneira eficiente, alguns parâmetros devem ser observados, pois influenciam o processo, podendo interromper, diminuir ou até aumentar (além da capacidade suportada pela estrutura de captação) a produção de gás. Tais fatores de influência são listados abaixo (ABASSI et al., 2012, tradução nossa):

- a) relação entre carbono e nitrogênio (C/N);
- b) pH, acidez, alcalinidade;
- c) temperatura;
- d) taxa de carregamento;
- e) tempo de retenção;
- f) toxicidade;
- g) agitação da mistura;
- h) diluição.

Segundo Farret (1999, p. 129), outro fator influente na digestão anaeróbia é a concentração de sólidos e está relacionado à diluição da biomassa. A seguir, estão descritos os fatores de influência na biodigestão.

##### 4.1.1.1 Relação Carbono/Nitrogênio

A relação C/N é um parâmetro de grande importância na digestão anaeróbia, pois a atividade bacteriana é dependente desta relação da seguinte maneira (SGANZERLA, 1983, p. 21):

O carbono e nitrogênio existentes nas matérias orgânicas são as principais fontes de alimentos das bactérias anaeróbias, sendo o primeiro responsável pela obtenção de energia, enquanto o nitrogênio contribui para a formação das células. Estas bactérias [anaeróbias] consomem aproximadamente 30 vezes mais rapidamente o carbono que o nitrogênio.

Ressalta-se que “[...] o nitrogênio é um nutriente que contribui para a formação e multiplicação das bactérias, mas em excesso induz à formação de amônia, que pode aumentar ou até parar a produção do biogás.” (FARRET, 1999, p. 129). Pode, frequentemente, existir a

necessidade de controle deste parâmetro, através de inclusão de matérias orgânicas com relação C/N que balanceie a sua concentração na biomassa, pois, “[...] a maioria dos dejetos animais tem baixa relação carbono/nitrogênio, [...] e devem ser corrigidos com resíduos vegetais, para se atingir o ponto ideal.” (FARRET, 1999, p. 129). Conforme Abassi et al. (c2012, p. 5, tradução nossa), a concentração de C/N “[...] na faixa de 20-30 é considerada ótima para a digestão anaeróbia.”.

#### 4.1.1.2 pH, acidez e alcalinidade

O nível de acidez na massa orgânica em decomposição é controlada através de seu pH, que durante o processo de biodigestão, deve ficar entre 6 e 8 (FARRET, 1999, p. 128). Conforme Abassi et al. (c2012, p. 6-7, tradução nossa):

Durante o período inicial de digestão, grandes quantidades de ácidos orgânicos são produzidos e o pH da mistura diminui. Como a digestão continua e aumenta a concentração de amônia, devido à digestão de [...] [proteínas], o valor do pH aumenta. Quando a produção de gás metano estabiliza, o pH permanece entre 7,2 e 8,2.

#### 4.1.1.3 Temperatura

A temperatura é um fator muito importante na biodigestão, que para ocorrer de maneira ideal, deve estar dentro de uma faixa entre 30 e 35°C (LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 19). Temperaturas acima ou abaixo da faixa ideal influenciam na produção de biogás, diminuindo o volume de gás gerado, e em função disto, deve-se levar em conta o clima de cada região na escolha e no projeto do biodigestor, por exemplo, “[...] a construção desses sistemas [de captação de biogás] em locais de clima frio deve ser analisada com cautela.” (LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 20).

#### 4.1.1.4 Taxa de carregamento

A taxa de carregamento é um parâmetro que relaciona volume de carga de biomassa no biodigestor com tempo. A taxa de carregamento, segundo Abassi et al. (c2012, p. 7, tradução nossa):

[...] é um importante parâmetro de controle, especialmente quando o processo de digestão é realizado em modo contínuo [...]. A sobrecarga pode facilmente levar a falha do sistema. Isto pode acontecer se houver uma mistura inadequada do resíduo com chorume. Isso pode causar um aumento significativo da concentração de ácidos

graxos voláteis, levando à queda acentuada no pH. Quando isso acontece, a taxa de alimentação para o sistema tem de ser reduzida durante algum tempo até que o processo de reestabilize.

A coleta de biomassa, para carregamento no sistema de biodigestão, depende do tipo de manejo de dejetos e criação de animais. A tabela 4 mostra o tempo de remoção de dejetos conforme a atividade.

Tabela 4 – Intervalo de tempo entre remoção de dejetos, conforme a atividade

Atividade	Número de dias entre remoções
Suinocultura	Diariamente, de 2 em 2 dias ou a cada 3 dias
Bovinocultura	Diariamente, de 2 em 2 dias a cada 3 dias ou semanalmente
Avicultura de corte	A cada 60 dias

(fonte: adaptado de LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 40)

#### 4.1.1.5 Tempo de retenção

Segundo Lucas Júnior et al. (2003, p. 34) “[...] cada tipo de dejetos necessita um determinado tempo para que seja fermentado totalmente dentro da câmara de biodigestão [...] o tempo de retenção é o tempo necessário para que toda a carga existente no interior de um biodigestor seja substituída.”. O tempo de retenção depende “[...] do pH, volume do material utilizado, agitação dentro do biodigestor e temperatura [...] Geralmente, esse período varia de 20 a 50 dias, sabendo-se que o tempo ótimo [...] ocorre quando o biofertilizante não apresenta, na saída, odor e presença de moscas.” (FARRET, 1999, p. 129). A tabela 5 mostra tempos de retenção, em função da finalidade do biodigestor.

Tabela 5 – Tempos de retenção, conforme finalidade de uso do biodigestor

Finalidade	Tempo de retenção (dias)
Produção de biogás	10 a 20
Produção de biofertilizante	50 e 60
Produção de biogás e biofertilizante	30

(fonte: LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 35)

#### 4.1.1.6 Toxicidade

A presença de determinados materiais inibe a ação das bactérias sobre a biomassa, criando assim um meio tóxico para estes organismos e, conseqüentemente, não gerando biogás (ABASSI et al., c2012, p. 9, tradução nossa). As substâncias tóxicas inibidoras da biodigestão (FERRAZ; MARRIEL, 1980, p. 16) são:

- a) amônia ( $\text{NH}_3$ ): em concentração elevada, inibe a formação do biogás;
- b) metais alcalinos e alcalinos terrosos;
- c) sulfitos e solventes orgânicos: álcoois e ácidos graxos de cadeia longa;
- d) cobre e antibióticos: tais substâncias presentes, respectivamente, nas rações dos suínos e aves, impedem a produção do gás, por atuarem diretamente sobre as bactérias.

Íons de sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), íons de amônia ( $\text{NH}_3^+$  e  $\text{NH}_4$ ) e o íon de enxofre ( $\text{S}^{-2}$ ) influenciam no processo de digestão anaeróbia, significativamente, conforme a concentração existente na biomassa. A tabela 6 apresenta as dosagens destes íons, que podem agir como inibidores da formação de metano, incluindo, também, os valores considerados estimulantes à digestão (FERRAZ; MARRIEL, 1980, p. 16).

Tabela 6 – Dosagem de íons influentes na formação do biogás

Íon	Dosagem (mg/l)	
	Inibidora	Estimulante
Na	8.000	100-200
K	12.000	200-400
Ca	8.000	100-200
Mg	3.000	75-150
$\text{NH}_3^+$	150	50
$\text{NH}_4$	3.000	200-1.000
$\text{S}^{-2}$	200	50-100

(fonte: adaptado de FERRAZ; MARRIEL, 1980, p. 16)

#### 4.1.1.7 Agitação da mistura

A agitação da mistura tem como finalidade promover a homogeneização da massa, distribuindo de maneira uniforme o material, a fim de manter a temperatura constante em toda

a biomassa no processo de biodigestão (FARRET, 1999, p. 128). Os efeitos da agitação da mistura e considerados vantajosos são (GIACAGLIA; DIAS, 1993, p. 16-17):

- a) promove maior contato entre o substrato e microorganismos;
- b) dispersa os prováveis inibidores do processo;
- c) aumenta a desintegração das partículas;
- d) evita a formação de espuma;
- e) evita sedimentação de sólidos;
- f) possibilita a formação de bolhas para escape do biogás.

#### 4.1.1.8 Concentração de sólidos

De acordo com Farret (1999, p. 129) “[...] [a] concentração de sólidos deve estar entre 7 e 9% [em volume] [...]”. Abaixo estão listados, os motivos pelos quais a concentração de sólidos na mistura influencia na biodigestão:

- a) evitar formação de lodo na parte superior do digestor
- b) facilitar o movimento do material no digestor;
- c) obter uma boa produção de fermentação;
- d) permitir uma boa digestão.

A tabela 7 mostra a percentagem média de matéria seca no esterco animal por espécie. Esta tabela serve de referência para se verificar o volume necessário de água que deve ser incluído na mistura (FARRET, 1999, p. 129).

Tabela 7 – Percentagem média de matéria seca no esterco animal

Animal produtor	Matéria seca no esterco (%)
Bovinos	16,5
Equinos	24,2
Ovinos	34,5
Caprinos	34,8
Suínos	19,0
Aves	18,0

(fonte: FARRET, 1999, p. 129)

#### 4.1.1.9 Diluição

O fator de diluição da biomassa está relacionado à suspensão dos sólidos. De acordo com Abassi et al. (2012, p. 6, tradução nossa):

A água deve ser adicionada, se necessária, para a matéria-prima produzir um lodo que não seja nem muito grosso e nem muito fino. Se um material é muito diluído, as partículas sólidas podem estabelecer-se no digestor e não serem degradadas corretamente. Se o lodo é demasiadamente espesso, pode haver dificuldade quanto a agitação e pode impedir o fluxo de gás para a parte superior do digestor. Diferentes sistemas podem lidar com diferentes níveis de densidade da suspensão, em geral, no intervalo de 10-25% de sólidos.

A tabela 8 mostra a relação esterco/água que, conforme Farret (1999, p. 129), deve existir para 7, 8 e 9% de conteúdo de sólidos na biomassa. Nota-se que quanto maior a percentagem de sólidos, maior a quantidade de água necessária para diluir a mistura.

Tabela 8 – Relação esterco/água animal para 7, 8 e 9% de conteúdo de sólidos.

Animal produtor	Sólidos na preparação de biomassa (%)		
	7%	8%	9%
Bovinos	0,74/1,00	0,94/1,00	1,20/1,00
Equinos	0,41/1,00	0,49/1,00	0,59/1,00
Ovinos	0,26/1,00	0,30/1,00	0,35/1,00
Caprinos	0,25/1,00	0,30/1,00	0,35/1,00
Suínos	0,58/1,00	0,73/1,00	0,90/1,00
Aves	0,64/1,00	0,80/1,00	1,00/1,00

(fonte: FARRET, 1999, p. 130)

#### 4.1.2 Resíduo da biodigestão

Após terminada a reação de biodigestão tem-se como produto final, além do biogás, o efluente, que se apresenta “[...] na forma líquida, rica em material orgânico, na forma de húmus, com grande poder fertilizante.” (SGANZERLA, 1983, p. 25). Este resíduo pode ser utilizado como biofertilizante e apresenta as seguintes vantagens (LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 75):

- a) os nutrientes estarão mais disponíveis, portanto serão absorvidos mais facilmente pelas plantas;

b) não é poluente;

c) não possui o cheiro desagradável e característico que os dejetos tinham antes da biodigestão.

Lucas Júnior et al. (2003, p. 75) afirma que:

[...] trata-se de um material natural com características bem adequadas para ser aplicado como fertilizante nas lavouras (como cafezais, canaviais, cultivos de feijão, entre outros), em substituição aos químicos que poluem o ambiente e deixam resíduos tóxicos nos alimentos e que, por isso, poderão causar danos à saúde do homem. Além disso, tem a característica de não atrair moscas as plantações e de ser livre de microorganismos patogênicos causadores de doenças nas plantas.

### 4.1.3 Potencial energético do biogás

A quantidade de metano presente no biogás depende da fonte de matéria-prima de origem, isto é, cada material ao entrar em processo de biodigestão possui um potencial energético particular e a tabela 9 mostra o volume de biogás produzido, em m<sup>3</sup>, por tonelada de estrume gerado, por tipo de animal e a tabela 10 mostra o consumo de biogás para algumas atividades.

Tabela 9 – Volume de biogás por tonelada de estrume

Animal produtor	Volume de biogás (m <sup>3</sup> /t)
Bovinos	270
Equinos	260
Ovinos	250
Suínos	560
Aves	285

(fonte: adaptado de SGARZERLA, 1983, p. 13)

Tabela 10 – Consumo médio de biogás por equipamento

Fontes de Consumo	Consumo médio de biogás
Fogões	0,42 m <sup>3</sup> de biogás/ dia/ pessoa
Geladeiras	2,1 m <sup>3</sup> de biogás/ dia
Iluminação	0,08 m <sup>3</sup> de biogás/ lâmpião/ hora de funcionamento
Aquecimento de água para banho	0,20 m <sup>3</sup> de biogás/ banho
Aquecimento de aviários (acionamento de campânulas)	0,22m <sup>3</sup> de biogás/ campânula/ por hora de funcionamento
Acionamento de motores	0,45 m <sup>3</sup> de biogás/ HP de potência/ hora de funcionamento

(fonte LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 78-79)

A seguir estão listados diferentes combustíveis e seus potenciais energéticos aproximados:

- a) gás natural: 8.600 kcal/m<sup>3</sup> (ABASSI et al., c2012, p. 1-2, tradução nossa);
- b) gás liquefeito de petróleo: 10.800 kcal/kg (ABASSI et al., c2012, p. 1-2, tradução nossa);
- c) querosene: 10.300 kcal/kg (ABASSI et al., c2012, p. 1-2, tradução nossa);
- d) diesel: 10.700 kcal/kg (ABASSI et al., c2012, p. 1-2, tradução nossa);
- e) biogás: 5.000 kcal/m<sup>3</sup> (ABASSI et al., c2012, p. 1-2, tradução nossa);
- f) gasolina: 11.100 kcal/kg (PETROLEO BRASILEIRO SA, c2014b);
- g) óleo combustível: 10.130kcal/kg (PETROLEO BRASILEIRO SA, c2014b);

## 4.2 BIODIGESTORES

Biodigestores são as estruturas construídas para controlar a decomposição orgânica e capturar o biogás. Tais estruturas podem ser de alvenaria ou fibra, enterrados ou sobre o solo, moldados *in loco* ou pré-fabricados. Ferraz e Marriel (1980, p. 3) definem biodigestores como sendo “[...] tanques fechados de onde se obtém o gás metano, pela fermentação de resíduos orgânicos [...] na ausência de oxigênio.”.

Basicamente, o biodigestor funciona da seguinte forma: é introduzida uma carga de biomassa, que pode ser contínua ou programada, em uma câmara apropriada à atividade bacteriana e então, através da digestão anaeróbia, é produzido o gás, que pode ser capturado. Conforme o modo de operação, os biodigestores são classificados em (FERRAZ; MARRIEL, 1980, p. 3):

- a) contínuo: modelo indiano, chinês e horizontal;
- b) sistema estático ou batelada.

Para projeto e execução de biodigestores, recomenda-se seguir algumas orientações para melhor desempenho do sistema. Conforme Sganzerla (1983, p. 35) “[...] a instalação [do biodigestor] deve ser próxima à biomassa e de maneira tal, que o abastecimento absorva o mínimo tempo.”. Para sistemas que trabalhem com baixa pressão, como o modelo indiano, não se deve construir tubulações maiores que 100m de comprimento. Além disso, deve se levar em consideração o local de saída de efluentes, para que sejam direcionados, também da forma mais rápida ao seu destino. Para dimensionamento de biodigestores deve ser

considerado, também, o volume de biomassa disponível, volume de água de diluição, fatores de biodigestão e volume potencial de produção de biogás. No processo de carga de biodigestores, a presença do inócuo, ou seja, o lodo retirado de outro biodigestor contendo as bactérias fermentativas, pode acelerar o processo de biodigestão, por conter as bactérias fermentativas responsáveis pela produção do biogás (LUCAS JÚNIOR et al., 2003).

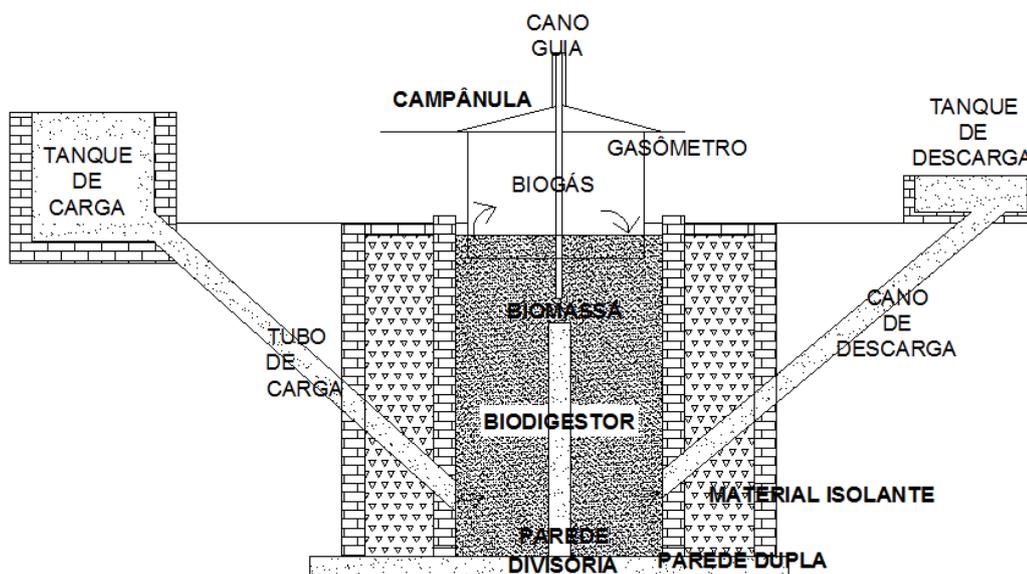
Alguns mecanismos de controle dos fatores de influência da biodigestão são indispensáveis para eficiência do sistema de biodigestores, tais como o controle de temperatura no biodigestor, que se dá através do uso de termômetros e uso de técnicas de isolamento térmico, inclusão de água quente e equipamentos de agitação para manter a temperatura adequada (SGANZERLA, 1983). Algumas das possíveis plantas de biodigestores, adaptados a regiões frias, com controle de temperatura, podem ser executadas a partir da implantação de sistema de inclusão de água aquecida, com consumo do próprio biogás que sai do aparelho; sistema de simples alimentação de água quente e agitador manual, em modelo de biodigestor chinês e sistema em modelo de biodigestor indiano, adaptado com parede dupla preenchida com material isolante. As figuras 7 e 8 mostram alguns dos exemplos citados de controle de temperatura.

Figura 7 – Biodigestor com simples alimentação de água quente e agitador manual, adaptado ao modelo chinês



(fonte: adaptado de ABASSI et al., c2012, p. 46)

Figura 8 – Biodigestor indiano adaptado com parede dupla preenchida com material isolante



(fonte: adaptado de SGANZERLA, 1983, p. 57)

#### 4.2.1 Biodigestor contínuo

O modelo de digestor contínuo é assim chamado, pois, a produção de biogás é contínua, ocorrendo paralelamente à operação de carga. Neste modelo de biodigestor, é recomendado, como material de carga, os dejetos agrícolas ou estrume de animais (FERRAZ; MARRIEL, 1980, p. 4). Conforme Ferraz e Marriel (1980, p. 3-4):

[...] [o] biodigestor [contínuo] é formado por um tanque (câmara fechada), geralmente circular, construído abaixo do nível do solo, para o qual, através de canalização de entrada, é introduzido o material orgânico misturado à água. Nesse tanque ocorre a fermentação e formação do biogás, que é armazenado no gasômetro, localizado ou não junto ao tanque de fermentação.

Depois de acionado o biodigestor, a produção do gás é contínua e a cada carga de resíduo fresco, (afluente) corresponde a descarga de igual quantidade de biofertilizante (efluente), realizada graças à diferença de nível entre as caixas de entrada e de saída do material.

O efluente, pelo princípio de vasos comunicantes, é retirado do biodigestor por uma canalização de saída, podendo ser imediatamente usado como adubo orgânico [...].

A movimentação interna do material no biodigestor é feita pela colocação do afluente, permitindo renovação da superfície de contato da bactéria com o material. [...] podem ser usados agitadores que movimentam a massa.

Os subitens 4.2.1.1, 4.2.1.2 e 4.2.1.3 descrevem os biodigestores indiano, chinês e horizontal respectivamente.

#### 4.2.1.1 Biodigestor indiano

O biodigestor indiano, também chamado de vertical ou Gobar, é executado abaixo do nível do solo, ele pode ser construído no local, com exceção do gasômetro, ou adquirido pronto (SGANZERLA, 1983). Ele é caracterizado por apresentar os seguintes componentes (LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 21-22, grifo do autor):

- a) **caixa de carga:** feita em alvenaria, refere-se ao local onde os dejetos diluídos em água serão colocados para serem introduzidos no sistema;
- b) **tubo de carga:** serve para conduzir o material, por gravidade, desde a caixa de carga até o interior do biodigestor. Normalmente, utiliza-se um tubo de PVC, com 150 mm de diâmetro;
- c) **câmara de biodigestão cilíndrica:** refere-se ao local onde ocorrerá a fermentação do material e a conseqüente liberação do biogás. Ela também deverá ser construída em alvenaria;
- d) **gasômetro [ou campânula]:** refere-se ao elemento que será responsável por armazenar o biogás produzido, permitindo o seu fornecimento com pressão constante. Isto é possível, porque ele se movimentará para cima ou para baixo, de acordo com o volume de gás armazenado ou retirado. [...];
- e) **tubo guia:** terá a função de guiar o gasômetro, quando este movimentar-se para cima ou para baixo. [...];
- f) **tubo de descarga:** servirá para fazer a retirada do material fermentado (sólidos e líquidos), dentro do biodigestor [...];
- g) **caixa ou canaleta de descarga:** refere-se ao local para onde será encaminhado o material retirado de dentro do biodigestor, até ser conduzido para outro local [...];
- h) **saída de biogás:** refere-se a um dispositivo que deverá existir na parte superior do gasômetro, pelo qual o biogás sairá [...] e será conduzido até os pontos de consumo [...].

O modelo indiano é o mais utilizado no País, pois “[...] oferece maior versatilidade na construção, podendo ser adaptado ao clima local e ao tipo de solo. Não há necessidade de se estabelecer medidas fixas para diâmetro e profundidade [...] [basta observar] a relação de capacidade do tanque digestor e o[...] [gasômetro].” (SGARZERLA, 1983, p. 4). A partir da tabela 11, que mostra alternativas de dimensionamento para o biodigestor Indiano, conforme o clima e solo, segundo a capacidade de retenção do tanque de biodigestão, pode-se verificar que, para regiões de clima frio ou temperado, os biodigestores devem ser executados com

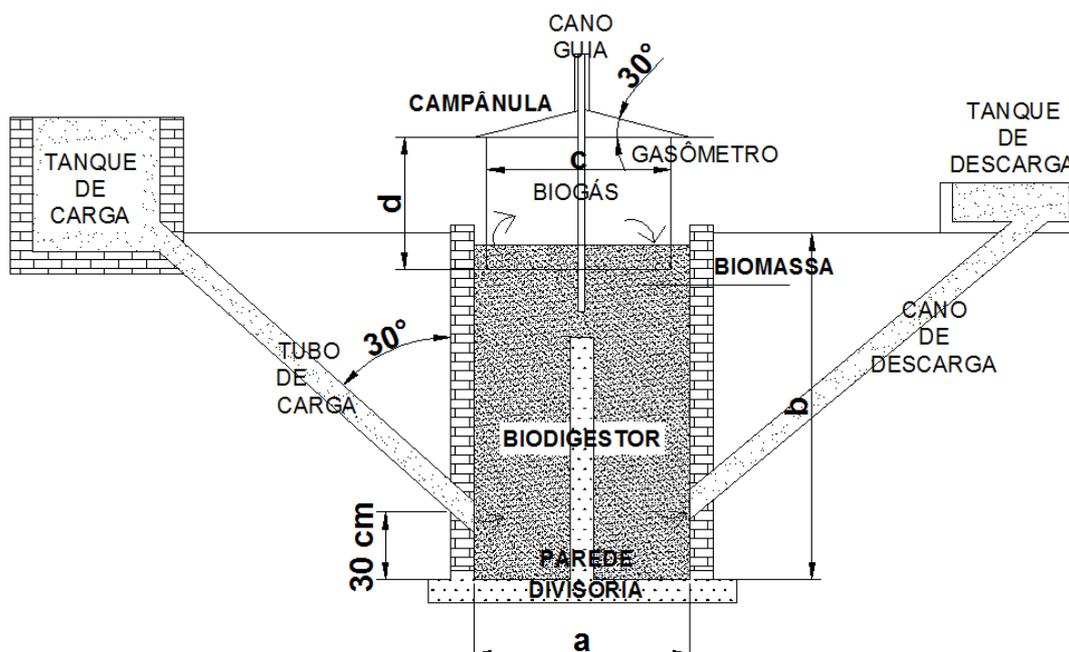
menores profundidades, enquanto que as regiões de clima tropical devem ter biodigestores executados com profundidades maiores. A figura 9 mostra os componentes do biodigestor modelo indiano e define as dimensões a, b, c e d descritas na tabela 11.

Tabela 11 – Alternativas de dimensionamento de biodigestor Indiano

Capacidade do tanque biodigestor	Tanque digestor (a x b)	Campânula	
		clima frio ou temperado (c x d)	clima tropical (c x d)
8m <sup>3</sup>	Ø 2,00 x 2,60m	Ø 1,80 x 2,30m	Ø 1,80 x 2,30m
	Ø 1,70 x 3,60m	Ø 1,50 x 1,50m	Ø 1,50 x 3,30m
10m <sup>3</sup>	Ø 2,20 x 2,70m	Ø 2,00 x 1,10m	Ø 2,00 x 2,50m
	Ø 1,85 x 3,80m	Ø 1,65 x 1,50m	Ø 1,65 x 3,40m
12m <sup>3</sup>	Ø 2,35 x 2,80m	Ø 2,15 x 1,10m	Ø 2,15 x 2,50m
	Ø 1,97 x 4,00m	Ø 1,77 x 1,55m	Ø 1,77 x 3,55m
15m <sup>3</sup>	Ø 2,53 x 3,00m	Ø 2,33 x 1,20m	Ø 2,33 x 2,50m
	Ø 2,10 x 4,40m	Ø 1,90 x 1,60m	Ø 1,90 x 3,80m
18m <sup>3</sup>	Ø 2,70 x 3,15m	Ø 2,50 x 1,20m	Ø 2,50 x 2,60m
	Ø 2,20 x 4,80m	Ø 2,00 x 1,75m	Ø 2,00 x 4,10m

(fonte: adaptado de SGARZERLA, 1983, p. 42-43)

Figura 9 – Biodigestor modelo indiano



(fonte: adaptado de SGANZERLA, 1983, p. 42-43)

No dimensionamento do modelo indiano, deve-se projetar caixas de carga 60cm acima do solo e a caixa de descarga no nível do solo, cada uma delas com capacidade volumétrica 15% maior que a carga diária de biomassa. Outro detalhe construtivo recomendado é de que os tubos de carga e descarga tenham inclinação de 30° e estejam posicionados 30 cm acima do nível do fundo do biodigestor, para que materiais pesados fiquem depositados no fundo e não influenciem o processo de biodigestão, e a cobertura do gasômetro deve possuir formato cônico, com 30°, conforme a figura 8 (SGANZERLA, 1983). O processo de execução do biodigestor indiano engloba as seguintes etapas (SGANZERLA, 1983, p. 44):

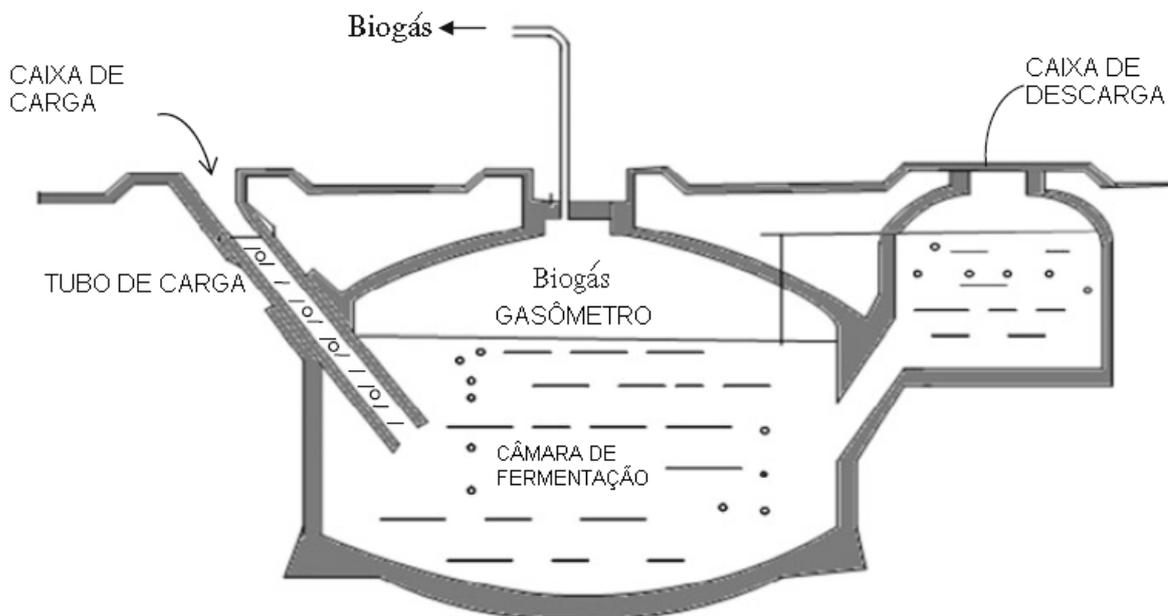
- a) nivelar e demarcar o terreno, de acordo com o tamanho do [...] [biodigestor];
- b) escavar o buraco com a margem necessária a desenvolver [...] [a execução da obra];
- c) construir a base e o cilindro [...] Acoplar os tubos de entrada e saída da biomassa;
- d) fixar a haste guia da campânula;
- e) rebocar e impermeabilizar todo o interior do cilindro;
- f) construir o tanque de [...] [carga e descarga];
- g) iniciar o abastecimento;
- h) [...] [executar a tubulação] para condução do biogás até o seu consumo.

#### 4.2.1.2 Biodigestor chinês

O modelo de digestor, conhecido como chinês, é muito semelhante ao indiano, tendo como maior diferença a unidade do gasômetro, que, no modelo indiano é móvel. Neste modelo, a unidade de gasômetro é fixa e a pressão interna varia conforme o volume de gás na estrutura (LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 23).

O digestor chinês é composto por “[...] caixa de carga, tubo de carga, câmara de biodigestão cilíndrica com fundo esférico, gasômetro em forma esférica, galeria de descarga e caixa de descarga.” (LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 24) e pode ser executado moldado *in loco*, em alvenaria ou estruturas pré-moldadas (BRASIL, 1981, p. 19). A limpeza interna da estrutura deve ocorrer, aproximadamente, 2 vezes por ano (BRASIL, 1981, p. 23). A figura 10 ilustra os componentes do biodigestor modelo chinês.

Figura 10– Componentes de um biodigestor modelo chinês



(fonte: adaptado de ABASSI et al., c2012, p. 46)

Aconselha-se, no projeto de biodigestores, aproveitar as “[...] condições altimétricas do terreno, [pois] pode-se usar de recursos de esgotamento do efluente por meio de gravidade.” (BRASIL, 1981, p. 23). Indica-se, por motivos de segurança, a instalação de um equipamento para medir a pressão dentro do gásômetro: “O manômetro indica vazamentos de gás e a quantidade deste na unidade [...] [sendo] útil na proteção da estrutura contra danos provocados por pressões muito altas.” (BRASIL, 1981, p. 24). No modelo chinês, o tanque de descarga também funciona como câmara reguladora de pressão (SGANZERLA, 1983). No processo executivo, recomenda-se seguir as seguintes etapas (SGANZERLA, 1983, p. 36-41):

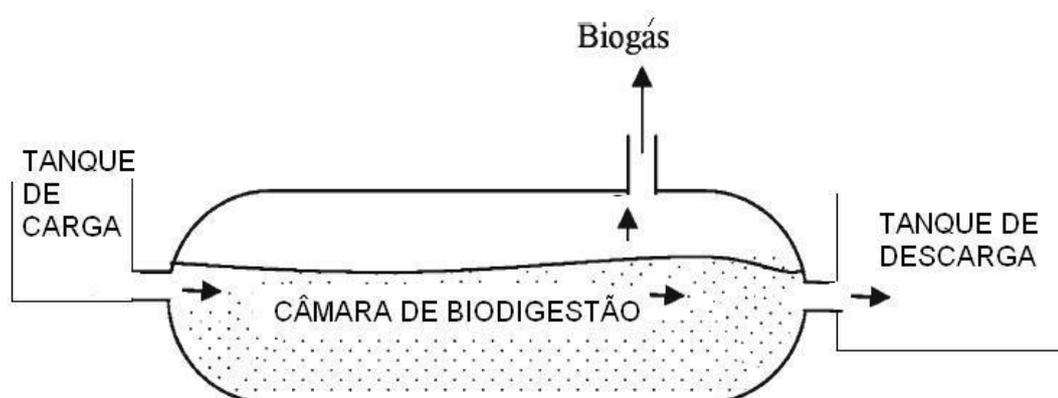
- a) Demarcação do terreno [...];
- b) Escavação do buraco;
- c) Fixação de uma estaca no centro da construção;
- d) Demarcar com estacas o cilindro correspondente à construção das paredes, com medida do raio correspondente [...];
- e) Construir a calota da base [...];
- f) Construção da parede do cilindro [do tanque de biodigestão][...]
- g) Construção da abóbada [do biodigestor] [...] e [fixação de] tubo [com diâmetro] [...]  $\frac{3}{4}$  para saída do biogás [...];

- h) [...] retirada a estaca que marca o centro, rebocar e impermeabilizar a parte interna [...]
- i) Fixar o tubo de carga;
- j) Construir câmara [...] de saída do biofertilizante [...];
- k) Rebocar a parte externa [...];
- l) Encher de terra a escavação correspondente à parte externa [...] e compactar [...];
- m) Construir o tanque de carga;

#### 4.2.1.3 Biodigestor horizontal

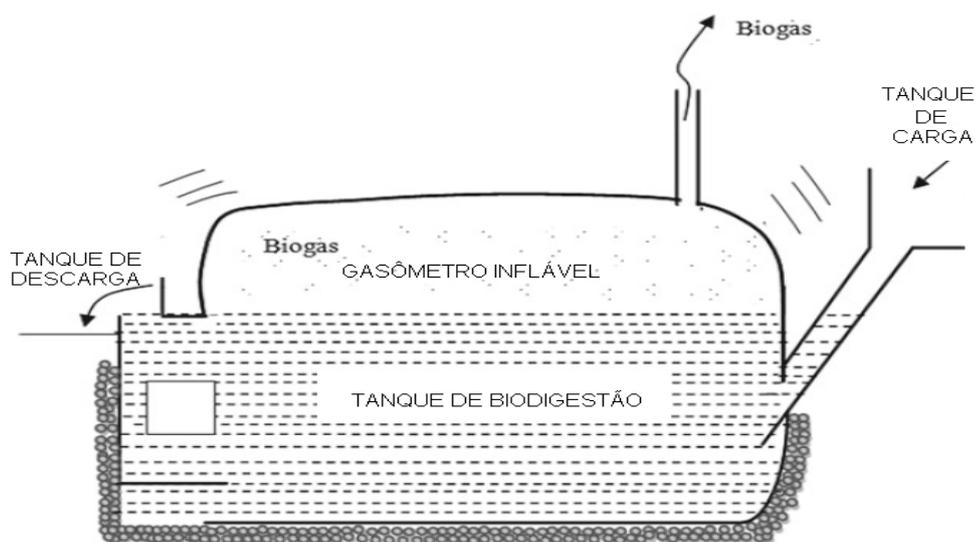
Outro modelo de biodigestor de carga contínua é o horizontal, mostrado na figura 11. É assim chamado pois o processo de carregamento e de descarga do resíduo final é feito em linha horizontal. A vantagem deste tipo de biodigestor é apresentar uma estrutura mais simples de execução, formada, basicamente, por uma entrada de carga, um tanque de biodigestão e uma saída de descarga de resíduo e outra para gás. O digestor tubular é um tipo específico do modelo horizontal, cuja característica principal é apresentar um gasômetro inflável (LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 25). A figura 12 esquematiza os componentes de um biodigestor tubular.

Figura 11 – Modelo de biodigestor horizontal



(fonte: adaptado de ABASSI et al., c2012, p. 37)

Figura 12 – Modelo de biodigestor horizontal tubular



(fonte: adaptado de ABASSI et al., c2012, p. 48)

#### 4.2.2 Biodigestor estático ou de batelada

O modelo de digestor estático tem como característica principal o fato de receber apenas uma carga de biomassa, por produção de biogás, ou seja, a matéria orgânica somente é renovada no biodigestor, após todo gás ser produzido e a carga anterior for descarregada (FERRAZ; MARRIEL, 1980, p. 7). De acordo com Ferraz e Marriel (1980, p. 7):

[...] cada carga tem produção limitada de gás, mas com a vantagem de poder receber resíduos não triturados. Pode ter as vantagens do contínuo desde que seja montada uma bateria de digestores em série, acoplados a um gasômetro, tendo desta forma a produção contínua de gás.

A estrutura do biodigestor de batelada é mais simples de ser construída e pode ser executada, tanto em alvenaria ou plástico, ela “[...] é composta apenas pela câmara de biodigestão cilíndrica, que é feita de alvenaria, e pelo gasômetro móvel, com formato cilíndrico e cobertura abaulada, construído de material metálico [...]” (LUCAS JÚNIOR et al., 2003, p. 28). A figura 13 mostra uma imagem de um biodigestor tipo batelada.

Figura 13 – Biodigestor tipo batelada

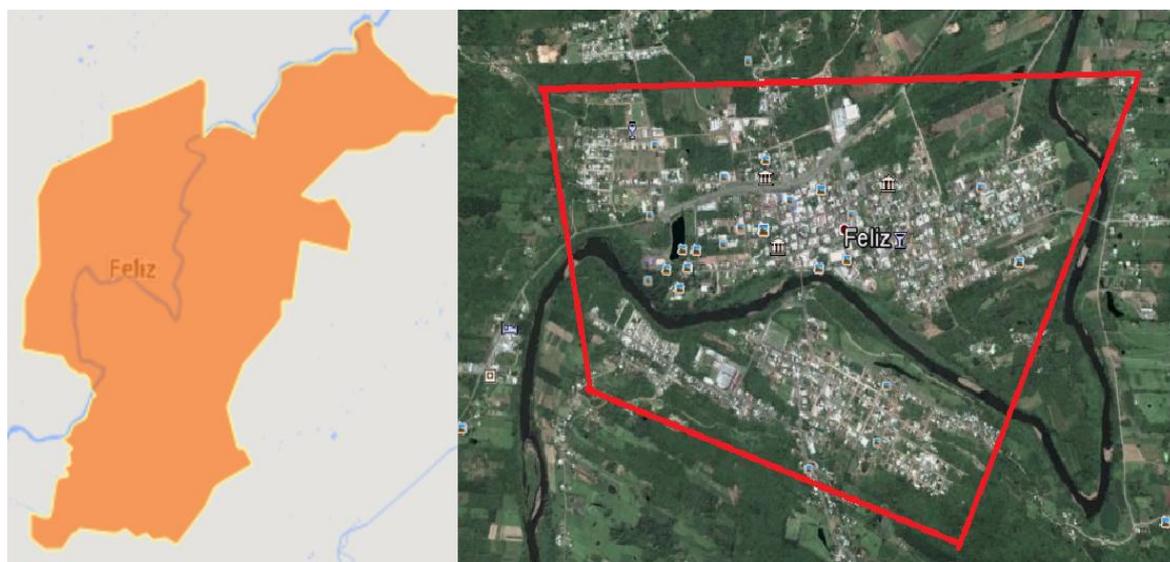


(fonte: ABASSI et al., c2012, p. 55)

## 5 MUNICÍPIO DE FELIZ/RS

O município de Feliz/RS, de colonização alemã, apresenta um clima temperado, com média de temperatura em torno de 20°C, que chega a 5°C, nas estações frias e a 39°C, nas estações quentes (FELIZ, 2013a). Com uma extensão territorial de 95,37 km<sup>2</sup>, o Município possui uma geografia caracterizada por um relevo composto por vales, morros e planícies, além de ser cortado pelo Rio Caí e seus afluentes (FELIZ, 2013d). A figura 14 apresenta uma imagem zona urbana de Feliz/RS, delimitando a sua área, com detalhe da área mais povoada.

Figura 14 – Imagem aérea de Feliz/RS, com detalhe da área mais povoada



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, 2014)

Apresenta um forte setor hortigranjeiro, mas a maior parte da população habita a zona urbana, em torno de 75,18% (FELIZ, 2013b). Segundo dados do IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, c2006), o setor agropecuário de Feliz/RS é composto por, aproximadamente, 757 propriedades rurais, distribuídas em 4990 hectares. Cabe ressaltar que a quantidade de estabelecimentos voltados à criação de aves (que produz o maior volume de resíduos na forma de estrume) é de 423 unidades, entre pequenas, médias e grandes propriedades.

Para manutenção das atividades residenciais, industrial e outras, há um consumo energético total equivalente a 42.364,601 kWh/ano em eletricidade (KUHN, 2014). As tabelas 12 e 13 apresentam os consumos energéticos em kWh, em 2011, para o município de Feliz/RS, na forma de eletricidade, conforme o setor demandado, e de outros insumos, respectivamente, convertidos a partir dos valores referenciados no item 4.1.3, do capítulo 4, e mostrado na figura 15, em kWh/ano. A partir destes dados pode-se obter as representações expressão do consumo de óleo diesel, gasolina, eletricidade, GLP e de outros combustíveis nos consumos energéticos de Feliz/RS, que são respectivamente de: 38,73%, 26,91%, 24,57%, 9,79% e 0,01% dos consumos energéticos.

Tabela 12 – Consumo de energia elétrica em Feliz/RS, no ano de 2011

Setor	Consumo em kWh
Residencial	7.875.247
Industrial	24.192.501
Comercial	4.462.580
Rural	3.768.593
Poder público	479.222
Iluminação pública	835.089
Serviço público	750.169
Consumo pela Rio Grande Energia (RGE) <sup>4</sup>	1.200
Total	42.364.601

(fonte: adaptado de KUHN, 2014, p. 195)

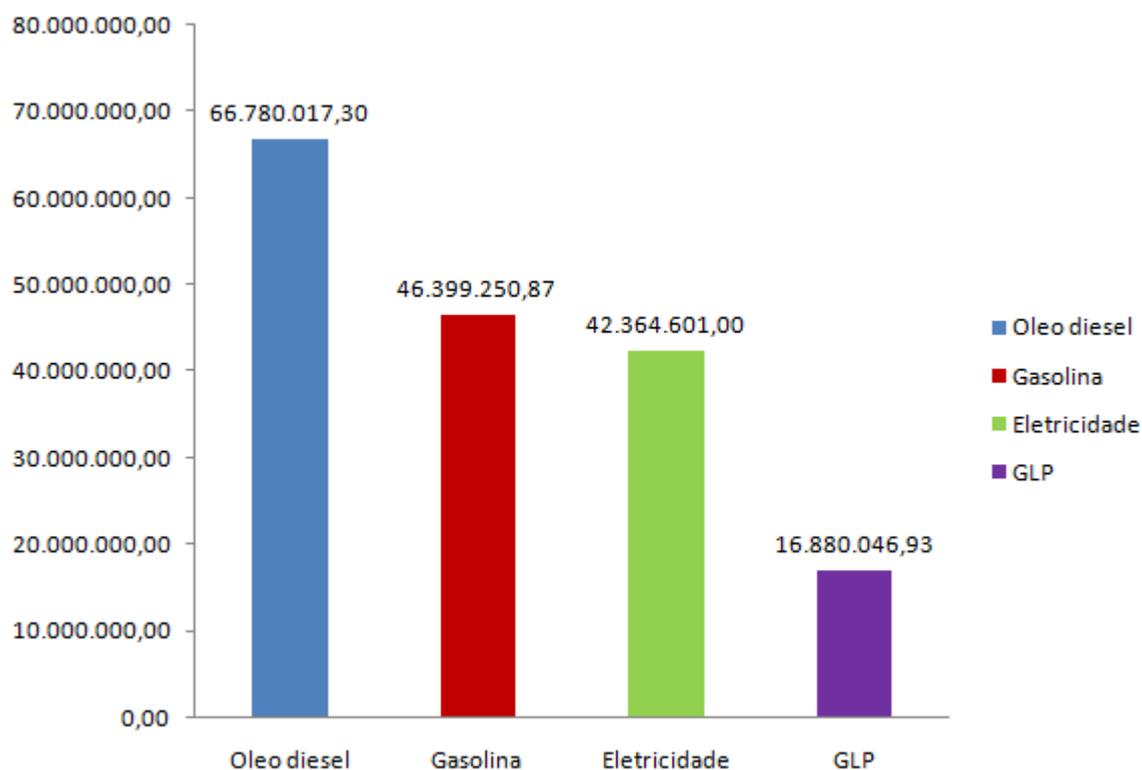
Tabela 13 – Consumo anual de outros combustíveis em Feliz/RS, em 2011

Combustível	Consumo em toneladas	Consumo equivalente em kWh/ano
Óleo diesel	5.366,40	66.780.017,3
Gasolina	3.594,25	46.399.250,87
GLP	1.343,91	16.880.046,93
Óleo Combustível	491,85	11.781,19
Outros	185,60	-
Total	10.982,01	130.071.096,3

(fonte: adaptado de KUHN, 2014, p. 195)

<sup>4</sup> A RGE é a distribuidora de energia elétrica da região.

Figura 15 – Consumos energéticos em Feliz/RS, em kWh/ano/insumo, em 2011



(fonte: adaptado de KUHN, 2014)

Levando em consideração a economia local, há uma grande quantidade de estrume gerado, com potencial de geração de biogás. Conforme Kuhn (2014, p. 209), a partir da análise dos fluxos de materiais no município de Feliz/RS, estimativa-se um valor de 11.872,11 ton/ano de estrume animal gerado e a tabela 14 mostra estas quantidades de resíduos gerados no município de Feliz/RS, em 2011, para diferentes tipos de animais.

Tabela 14 – Geração de resíduos sólidos em Feliz/RS, em 2011

Resíduo	Quantidade (parte sólida em toneladas)
Dejetos de bovinos de leite	514,49
Dejetos de bovinos de corte	1.753,45
Dejetos, na forma de cama de frango	7.840,65
Dejetos de galinhas poedeiras	386,57
Dejetos suínos	1.340,79
Dejetos de outros animais	36,82
Total	11.872,77

(fonte: adaptado de KUHN, 2014, p. 209)

O destino dos resíduos gerados no Município, de diferentes origens, devem seguir as diretrizes de gerenciamento de resíduos regulamentos pela Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010b). Alguns dos recursos utilizados para destinação final de resíduos é a compostagem.

## 6 ANÁLISES

Para auxiliar na realização da pesquisa foram realizadas visitas a uma propriedade rural voltada à criação de hortigranjeiros orgânicos no Município estudado. Os dados coletados servem de apoio para a resolução da questão de pesquisa para a extrapolação dos dados de potencial energético de biogás para o Município.

### 6.1 ESTUDO DE CASO: PROPRIEDADE RURAL EM FELIZ/RS

Nesta etapa da pesquisa foi elaborada uma planilha de acompanhamento (figura 16) para levantamento dos dados, tais como: tipo, forma de criação e número de animais presentes, durante as visitas nos meses de janeiro, fevereiro e abril. Os dados coletados de insumos energéticos na propriedade, referem-se ao consumo médio mensal, expressos em kWh para a produção de alimentos e para consumo residencial de 6 pessoas, equivalente a 17.197,56 kWh/ano.

Figura 16 – Planilha de acompanhamento

PLANILHA DE ACOMPANHAMENTO				
Área da propriedade: 4,5 ha		Atividade: Agricultura de subsistência		
Insumos energéticos		Média consumida		
Eletricidade		900 kWh/mês		
Gás (GLP)		39 kg/mês (533,13 kWh/mês)		
Total em kWh		1.433,13 kWh/ mês (17.197,56 kWh/ano)		
Animais	Modo de criação	Quantidade de animais por tipo		
		Visita 01 JAN. /14	Visita 02 FEV. /14	Visita 03 ABR. /14
Bovinos	Semi-confinados	9	9	8
Suínos	Confinados	5	5	5
Aves	Semi-confinados	450	450	450

(fonte: elaborado pela autora)

### 6.1.1 Características da propriedade

A propriedade estudada, localizada no bairro das Escadinhas, possui 4,5 ha de área e está próxima a uma área de preservação permanente (APP). Em posse da família desde o ano de 1846, possui uma das primeiras residências com iluminação elétrica do Município (figura 17).

Figura 17 – Residência localizada na propriedade



(fonte: foto da autora)

No local há plantações variadas, onde são usados apenas biofertilizantes, produzidos no local, através da compostagem de material orgânico e utilização de restos de cinzas provenientes da queima de lenha, em volume suficiente para consumo próprio. A criação de animais se restringe a suínos, bovinos e aves poedeiras, sendo criados em regime semi-confinado, exceto pelos suínos, que ficam em regime de confinamento total. Ainda não foi implantado o sistema de biodigestores na propriedade, mas é do interesse do produtor rural, tendo em vista a visão ecológica do produtor. Na propriedade foi feita uma escavação para implantação de biodigestor, mas que não foi executada, a figura 18 mostra este local de escavação, próximo à área da baia e curral.

Figura 18 – Local de escavação e área de confinamento dos suínos e bovinos



(fonte: foto da autora)

O manejo dos animais é feito segundo os critérios e normas reguladoras vigentes, sendo a limpeza dos currais e baias feita semanalmente e a dos aviários a cada 120 dias ou antes, se necessário. Sendo a criação dos animais em caráter de semi-confinamento, ou seja, os animais apenas são confinados durante a noite ou em períodos de necessidade, exceto pelos suínos que permanecem em regime de confinamento diário. As figuras 19, 20 e 21 mostram as áreas de confinamento dos bovinos/suínos, o aviário existente e a zona de pasto dos bovinos, respectivamente.

Figura 19 – Área de confinamento dos bovinos/suíños



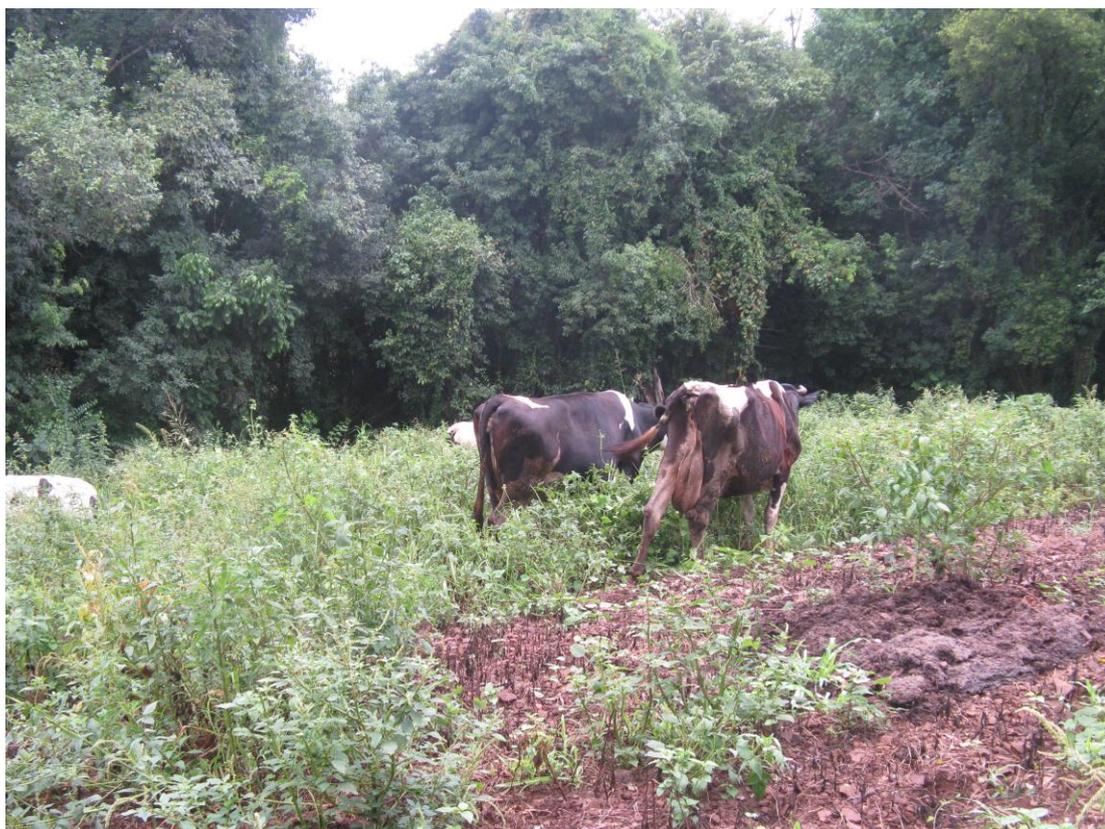
(fonte: foto da autora)

Figura 20 – Aviário da propriedade



(fonte: foto da autora)

Figura 21 – Zona de pasto dos bovinos



(fonte: foto da autora)

### 6.1.2 Estimativa do volume de biogás para a propriedade estudada

A fim de estimar-se o volume de gás para a propriedade estudada foram utilizados os dados coletados durante as visitas e calculados, a partir dos valores da tabela 3, do item 3.2.4, os valores totais médios de estrume de bovinos, suínos e aves, denominados mt1, mt2 e mt3, respectivamente, como visto na tabela 15.

Tabela 15 – Estrume médio calculado

Animais	Média de estrume calculada (kg/mês)
Bovinos (mt1)	2.600
Suínos (mt2)	337,5
Aves (mt3)	2.430

(fonte: elaborado pela autora)

O volume de estrume da propriedade com potencial de geração de biogás não equivale a 100% do estrume produzido pelos animais, devido à forma de manejo dos animais (confinamento total, semi-confinamento) e apenas um percentual pode ser armazenado e utilizado como fonte de biomassa para produção de biogás. Considerando que a quantidade de excreções liberadas ao longo do dia seja constante e o período de confinamento dos animais represente 25% do dia, então, uma quantidade útil de biomassa com potencial de geração de biogás para a propriedade pode ser estimada considerando este volume de estrume gerado somente durante o período de confinamento dos animais, sendo seus valores médios de estrume de bovinos, suínos e aves, denominados m1, m2 e m3, e é mostrado na tabela 16.

Tabela 16 – Quantidade útil de estrume gerado na propriedade, em kg/mês

Animais	Quantidade de estrume útil estimado (kg/mês) (valor médio)
Bovinos (semi-confinados)	650,00 (m1)
Suínos (confinamento total)	337,5 (m2)
Aves (semi-confinados)	607,5 (m3)

(fonte: elaborado pela autora)

Com base nos dados coletados, verifica-se a constância no número de animais da propriedade e, portanto, o volume de biomassa disponível é um valor constante. A partir dos dados calculados, de quantidade média de estrume produzido mensalmente, mostrados na tabela 16, estima-se o volume potencial de biogás na propriedade estudada a partir da fórmula 1 (os parâmetros Vb1, Vb2 e Vb3 são obtidos na tabela 9, do item 4.1.3. A fim de enfatizar os valores de energia de biogás, a tabela 17 mostra apenas os valores utilizados na fórmula 1, para volume de biogás por tonelada de estrume (Vb1, Vb2 e Vb3).

$$V = [(m1 \times Vb1) + (m2 \times Vb2) + (m3 \times Vb3)] \times 12 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

V = volume total de biogás estimado para a propriedade rural estudada, em m<sup>3</sup>/ano;

m1 = quantidade média de estrume útil, em toneladas/mês, produzido por bovinos;

Vb1 = volume de biogás, por tonelada de estrume, em m<sup>3</sup>/mês, a partir de esterco bovino;

m2 = quantidade média de estrume útil, em toneladas/ano, produzido por suínos;

Vb2 = volume de biogás, por tonelada de estrume, em m<sup>3</sup>/mês, a partir de esterco suíno;  
 m3 = quantidade média de estrume útil, em toneladas/mês, produzido por ave poedeira;  
 Vb3 = volume de biogás, por tonelada de estrume, em m<sup>3</sup>/mês, a partir de esterco de aves.

Tabela 17 – Volume de biogás por tonelada de estrume

Animal produtor	Volume de biogás (m <sup>3</sup> /t)
Bovinos	270 (Vb1)
Suínos	560 (Vb2)
Aves	285 (Vb3)

(fonte: adaptado de SGARZERLA, 1983, p. 13)

O volume de biogás estimado para a propriedade rural estudada é de 6.451,65 m<sup>3</sup>/ano, ou seja, 32.258.250 kcal/ano, que equivale, aproximadamente, a 37.516,34 kWh/ano (37,51 MWh/ano). Os dados estimados para a propriedade levam em consideração que todos os fatores de influência da biodigestão sejam controlados e que o metano do biogás tenha um poder calorífico de 5.000 kcal/m<sup>3</sup>. Este potencial é equivalente a 218% do consumo total anual de GLP e eletricidade para a propriedade. Os dados estimados para a propriedade levam em consideração que todos os fatores de influência da biodigestão sejam controlados e que o metano do biogás tenha um poder calorífico de 5.000 kcal/m<sup>3</sup>.

## 6.2 EXTRAPOLAÇÃO DE DADOS PARA O MUNICÍPIO

A partir do volume de biogás estimado para a propriedade pode-se extrapolar o volume potencial de biogás para o município de Feliz/RS, utilizando os dados da tabela 14 do capítulo 5, os valores calculados e apresentados na tabela 17 e a fórmula 2:

$$V_t = V \times \left[ \frac{(M1 + M2 + M3)}{12 \times (mt1 + mt2 + mt3)} \right] + (M4 \times Vb3 \times Ia) \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

V<sub>t</sub> = volume total de biogás, em m<sup>3</sup>/ano, para o município de Feliz/RS;

V = volume total de biogás, estimado para a propriedade rural estudada, em m<sup>3</sup>/ano;

M1 = quantidade total de estrume, produzido por bovinos, no município de Feliz/RS, em toneladas/ano;

M2 = quantidade total de estrume, produzido por suínos, no município de Feliz/RS, em toneladas/ano;

M3 = quantidade total de estrume, produzido por aves poedeiras, no município de Feliz/RS, em toneladas/ano;

mt1 = quantidade média total de estrume, produzido por bovinos, na propriedade estudada, em toneladas/ano;

mt2 = quantidade média total de estrume, produzido por suínos, na propriedade estudada, em toneladas/ano;

mt3 = quantidade média total de estrume, produzido por aves poedeiras, na propriedade estudada, em toneladas/ano;

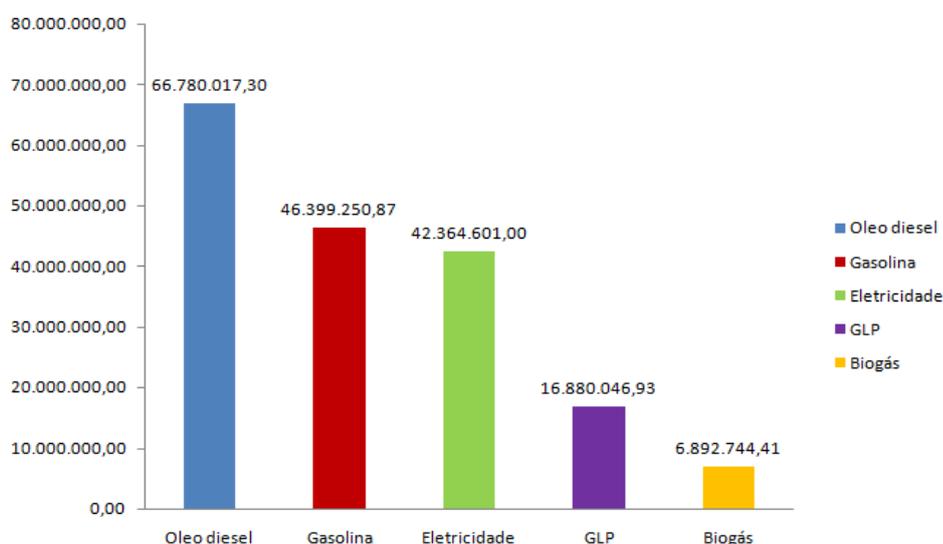
M4 = quantidade total de biomassa, proveniente de cama de frango, no município de Feliz/RS, em toneladas/ano;

Vb3 = volume de biogás, por tonelada de estrume, em m<sup>3</sup>/ano, a partir de esterco de aves;

Ia = percentual de aproveitamento da cama de frango.

A partir da fórmula 2, e considerando um percentual de aproveitamento de cama de frango igual a 0%, o volume de biogás estimado para o Município é de 1.185.552,04 m<sup>3</sup>/ano, equivalente a uma potência elétrica de 6.892.744,41 kWh/ano (6.892,74 MWh/ano). A figura 22 mostra esta contribuição energética convertida em kWh na matriz energética do Município.

Figura 22 – Gráfico de contribuição potencial do biogás à matriz energética de Feliz/RS, sem aproveitamento dos dejetos de cama de frango



(elaborado pela autora)

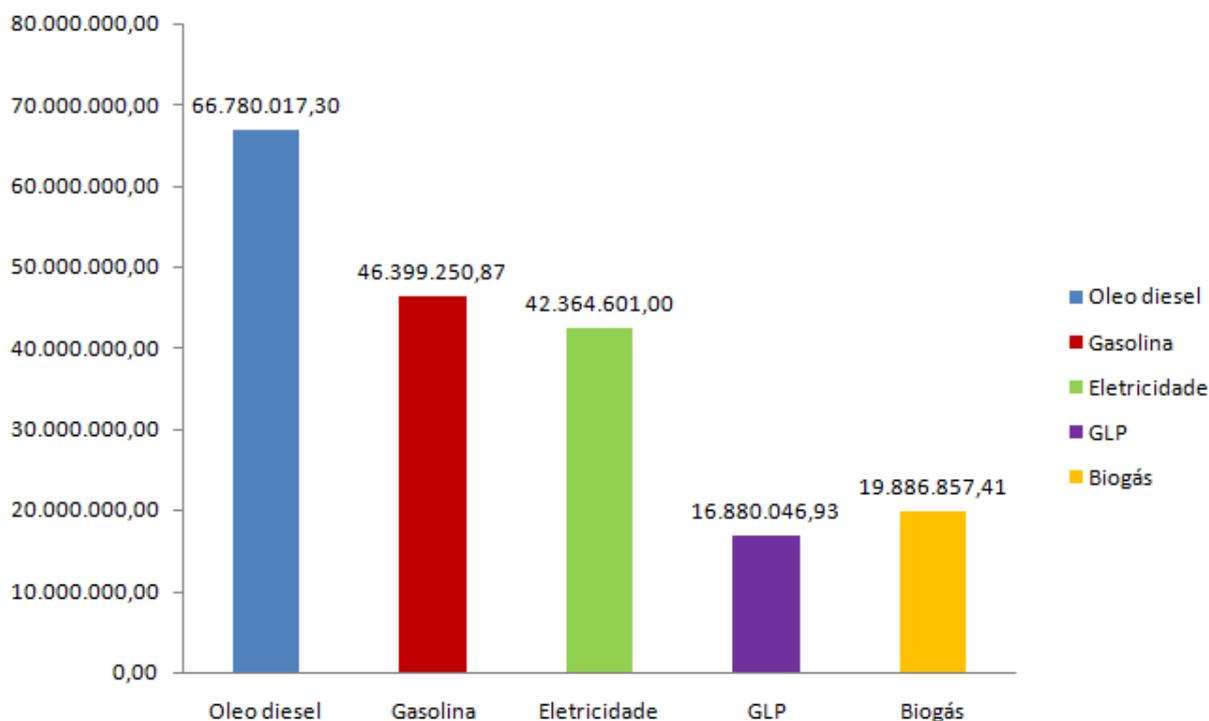
O volume de biogás extrapolado a partir da fórmula 2, para o município de Feliz/RS, é de 14.179.665,04 m<sup>3</sup>/ano, se considerado também o aproveitamento total da biomassa proveniente do resíduo de cama de frango, que é equivalente a uma energia de 19.886.857,41 kWh/ano (19.886,85 MWh/ano). A tabela 18 mostra o percentual representativo do biogás à matriz energética do Município, para diferentes percentuais de aproveitamento do resíduo de cama de frango e a figura 23 ilustra a representação do potencial energético do biogás à matriz energética para o Município, considerando esta parcela. O potencial do gás proveniente somente da biodigestão da cama de frango agregaria 12.994.113,00 kWh/ano de energia (30% do consumo elétrico de Feliz/RS). Estas estimativas admitem que os fatores de influência da biodigestão sejam controlados e que o metano do biogás tenha um poder calorífico de 5.000 kcal/m<sup>3</sup>.

Tabela 18 – Representação na matriz energética para diferentes percentuais de aproveitamento de cama de frango (%)

Percentual de aproveitamento de cama de frango	Potência (kWh/ano)	Representação na matriz energética, para diferentes percentuais de aproveitamento de cama de frango (%)
0%	6.892.744,41	3,84%
5%	7.542.450,06	4,19%
10%	8.192.155,71	4,54%
20%	9.491.567,01	5,22%
30%	10.790.978,31	5,89%
40%	12.090.389,61	6,55%
50%	13.389.800,91	7,21%
60%	14.689.212,21	7,85%
70%	15.988.623,51	8,49%
80%	17.288.034,81	9,11%
90%	18.587.446,11	9,73%
100%	19.886.857,41	10,34%

(elaborado pela autora)

Figura 23 – Gráfico de contribuição potencial do biogás à matriz energética de Feliz/RS, para aproveitamento total dos dejetos de cama de frango



(elaborado pela autora)

### 6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSTAS

Nesta etapa do trabalho foram analisados os resultados (estimados de volume de biogás) e seu potencial energético, a fim de verificar as possíveis propostas para seu aproveitamento, com base na verificação das considerações de oferta de biomassa, características de Feliz/RS, e das condições necessárias para implantação de cada proposta. Com base no estudo de caso em uma propriedade de Feliz/RS, sabe-se que o potencial real de biogás é menor do que o estimado, em função das perdas de biomassa, conforme o manejo e forma de criação de cada produtor, mas que, mesmo assim, o biogás agrega energia de maneira significativa à matriz energética do Município.

Os resultados podem apresentar variabilidade devido as limitações da pesquisa, tanto devido as características particulares da propriedade em estudo, tanto quanto as variações de quantidade de estrume. E a partir destes resultados obtidos, é possível elencar inúmeras possibilidades de combinações de propostas para aproveitamento no Município. Nos itens 6.3.1 e 6.3.2, foram analisadas 2 possíveis propostas de aproveitamento de biogás, que após verificadas as vantagens e desvantagens de cada uma, além de outras variáveis, foi

determinada a melhor proposta para o Município segundo os conceitos de aproveitamento energético e sustentabilidade.

### **6.3.1 Proposta 1: aproveitamento do estrume animal e resíduos da cama de frango**

Para análise da proposta 1 de aproveitamento de biogás para Feliz/RS, com aproveitamento de estrume animal e resíduo da cama de frango, faz-se necessário evidenciar, principalmente, as seguintes condições e após determinar as vantagens e desvantagens da proposta. O biogás estimado agrega uma potência de 19.886,57 MWh/ano à matriz energética, equivalente a 10,34% dos consumos do Município, sendo que somente a parcela proveniente do resíduo da cama de frango gera 12.994.113,00 kWh/ano:

- a) se convertido em energia elétrica equivale a 46% do consumo deste insumo, o que é suficiente para abastecer os setores comerciais, rural, iluminação e serviços públicos;
- b) se somente a parcela de energia referente à cama de frango for convertida em eletricidade, este potencial seria equivalente a 30% do consumo de energia elétrica de Feliz/RS;
- c) o potencial total de biogás em forma natural (desconsiderando o potencial total da cama de frango) é suficiente para substituir 40% do consumo de GLP no Município, substituindo grande parte do uso de combustíveis fósseis;
- d) o potencial de biogás, em forma natural (considerando o potencial total da cama de frango), é suficiente para substituir o consumo de GLP no Município, substituindo o uso de combustíveis fósseis.

Algumas das vantagens e desvantagens do aproveitamento do resíduo da cama de frango e do estrume animal estão listadas a seguir:

- a) **vantagens:** o biogás estimado agrega potencial energético relevante à matriz energética (10,34% da matriz energética), e grandes quantidades de resíduos orgânicos são tratados;
- b) **desvantagens:** a conversão em energia elétrica exige sistemas adaptados com motores ciclo *Otto*; o clima de Feliz/RS, conforme visto no capítulo 5, possui estações climáticas com temperaturas abaixo da faixa adequada para que a biodigestão ocorra de maneira eficiente (30 a 35°C), visto no item 4.1.1.3; e para que o processo ocorra de maneira eficiente deve ser feito uso sistemas de controle de temperatura vistos na figura 7 do item 4.2; o aproveitamento total da cama de frango exige solução de sistema de biodigestores maiores, para que

todo o volume de esterco produzido possa ser armazenado e tratado, o que ampliaria a área necessária para a implantação do sistema de aproveitamento de biogás, sendo necessário estudos mais aprofundados para definição de um percentual de aproveitamento que proporcione o menor impacto ambiental, com levantamentos de campo, cujo estudo não está englobado na pesquisa.

Se adotado o aproveitamento do resíduo de cama de frango, primeiramente deve ser definido um percentual de aproveitamento, que proporcione o menor impacto ambiental, cujo estudo não está englobado na pesquisa. A proposta de captação de biogás, mais adequada ao aproveitamento energético do resíduo da cama de frango, seria caracterizada pela implantação de sistemas de biodigestores centralizados e rotativos, com a instalação de modelos de carga estática. Ou seja, a central de biodigestão, deve receber a carga das diferentes propriedades em períodos alternados; ou seja, rotativos, respeitando os tempos de retenção, produção das cargas de biogás e o tempo de remoção da cama de frango nos aviários que contribuirão. Havendo possibilidade de conversão da energia do gás em eletricidade, com a utilização de motores Ciclo Otto, e repassados à concessionária local, abastecendo outros setores que demandem energia elétrica, tais como serviços públicos.

### **6.3.2 Proposta 2: aproveitamento do potencial energético apenas de estrume animal**

Para análise da proposta 2 de aproveitamento de biogás para Feliz/RS, com aproveitamento apenas de estrume animal, faz-se necessário evidenciar, principalmente, as seguintes condições e, após, determinar as vantagens e desvantagens da proposta.

- a) O aproveitamento dos estrumes animais para geração de biogás é estimado em 6.892,74 MWh/ano, equivalente à 3,84% do consumo energético da matriz energética de Feliz/RS;
- b) o potencial total de biogás, gerado por estrume, é suficiente para substituir 40% do consumo de GLP no Município;
- c) se convertido totalmente em eletricidade, a produção é equivalente a 16% do consumo deste insumo, e suficiente para abastecer alguns setores consumidores de energia elétrica, tais como os setores rurais, iluminação e serviços públicos;

Algumas das vantagens e desvantagens do aproveitamento do estrume animal estão listadas a seguir:

- a) **vantagens:** o biogás estimado agrega potencial energético à matriz energética (3,84% da matriz energética); os resíduos orgânicos são tratados, em forma natural, equivalendo a 40% do consumo de GLP, e pode substituir este combustível fóssil; o sistema de biodigestores exige áreas menores e pode ser implantado de forma descentralizada.
- b) **desvantagens:** necessidade de sistemas de controle de temperatura para que a biodigestão ocorra de maneira eficiente, em função do clima de Feliz/RS.

Há diferentes possibilidades de combinações de aproveitamento de biogás para o município de Feliz/RS. Analisando apenas as 2 situações vistas nos itens 6.3.1 e 6.3.2, e visando o potencial total de biogás estimado, definiu-se a uma proposta de aproveitamento para Feliz/RS, mostrada no item 6.4.

#### 6.4 DEFINIÇÃO DA PROPOSTA

Apesar do aproveitamento do resíduo da cama de frango agregar potencial significativo a matriz energética de Feliz/RS, conforme mostrado na tabela 17 e a figura 23, e tratar material orgânico em grande volume, o aproveitamento total implica em solução de sistema de biodigestores maiores. Para que todo o volume de esterco produzido possa ser armazenado e tratado, são necessárias grandes extensões de terra, mesmo que se adote o sistema indicado no item 6.3.1, de biodigestores centralizados e rotativos. Sendo assim, a proposta 1 não é a mais adequada para o Município, pois há necessidade de estudos mais detalhados sobre impactos ambientais, principalmente, devido ao uso do solo, que não está englobado nesta pesquisa.

Então, o trabalho coloca como mais adequada, considerando apenas as 2 situações vistas nos itens 6.3.1 e 6.3.2, a proposta 2, que seria caracterizada por um sistema descentralizado, ou seja, a geração de gás ocorre em várias centrais de biodigestores adequados ao tipo e manejo de animais, distribuídos em propriedades rurais do Município. Recomenda-se que as propriedades rurais instalem biodigestores do tipo chinês ou indiano, devido à forma de carga contínua, com o uso de sistema de controle de temperatura, devido ao clima do Município, vistos no item 4.1.1.3. Pode ser utilizado sistemas que utilizem água quente, verificando se o gasto energético para aquecimento da água compensa, ou executar biodigestores com dimensões adaptadas ao clima frio, como, por exemplo, biodigestores indianos dimensionados como mostrado na tabela 11, do item 4.2.1.1.

Propõe-se o uso do gás, em sua forma natural, para aquecimento de água, aviários e cozimento de alimentos, em substituição ao GLP. O gás gerado pode suprir as demandas energéticas das propriedades, nas quais estão instalados. Cabe ressaltar, que conforme o porte da propriedade, o volume de gás produzido poderá ser suficiente apenas para complementar o consumo próprio, ou, como a do estudo prototípico, o volume de gás produzido será excedente ao abastecimento local, podendo ser armazenado para consumo futuros ou repassado para estabelecimentos comerciais e residenciais que demandem gás. Neste caso, recomenda-se que seja armazenado volume de biogás que compense o gasto energético em combustíveis fósseis durante o transporte, para as regiões locais que demandem gás.

Enfim, propõe-se um sistema de aproveitamento da energia do biogás, que substitua combustíveis fósseis, ressaltando a importância da substituição de fontes de energia não-renováveis por fontes alternativas de energia, e promovendo o desenvolvimento sustentável. Com esta proposta, através do gás em sua forma natural, será possível substituir o consumo de GLP (combustível fóssil), reduzindo seu consumo em 40% no Município.

O aproveitamento do biogás, proveniente do estrume animal, além de agregar energia à matriz energética de Feliz/RS, trata os resíduos sólidos, em conformidade com a Lei Federal nº 12.305/2010 de gerenciamento de resíduos sólidos. O destino final do resíduo da biodigestão, em todas as situações, pode ser utilizado como biofertilizante em cultivos agrícolas, tanto na propriedade de produção, quanto em outras propriedades. Substituindo os fertilizantes químicos, que causam contaminação ambiental (danos ao solo e recursos naturais), Neste caso, propõe-se a venda do resíduo da biodigestão, para produtores agrícolas interessados, agregando, assim, valor econômico ao material.

## 7 CONCLUSÃO

Este capítulo versa sobre as considerações finais do trabalho, tais como a resposta para a questão de pesquisa, reiterando os principais tópicos abordados. O uso de fontes alternativas de energia, de caráter renovável é de suma importância nos dias atuais, frente às condições de dependência energética em que a sociedade se encontra. Foi verificado ao longo da pesquisa, que o País, apesar de uma matriz energética baseada na hidroeletricidade, vem passando por mudanças nos ciclos hidrológicos, com diminuição das vazões de chuva e rebaixamentos do nível de reservatórios de hidrelétricas, havendo a necessidade de agregar ao sistema energético do país, potência proveniente de outras fontes de energia renováveis, promovendo, assim, o desenvolvimento de uma sociedade sustentável energeticamente. Frente a isto, engenheiros e profissionais técnicos têm a responsabilidade de projetar e executar sistemas de aproveitamento energético que se façam valer de fontes energéticas, cuja matéria-prima seja renovável.

O biogás surge como uma alternativa às fontes de energia mais utilizadas, pois além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, também é uma alternativa associada ao tratamento de efluentes. Tem grande potencial de uso no País, tendo em vista a forte presença do setor primário, e conseqüentemente, o resíduo orgânico não aproveitado da agropecuária, pode ser utilizado com fonte energética para geração do biogás. O município de Feliz/RS, também é caracterizado pela presença de um forte setor primário, e, portanto, possui matéria orgânica com potencial de geração de energia do biogás.

O objeto de pesquisa deste trabalho foi o estudo do biogás, como fonte de energia, através de uma proposta de aproveitamento, de estrume animal para geração de gás, para o Município de Feliz/RS, através de sistemas de biodigestores. A partir do estudo prototípico em uma propriedade localizada na região, estimou-se que o volume de biogás para a propriedade, cujos dados foram extrapolados para o Município, atinge valor de 6.892.744,41 kWh/ano, suficientes para substituir as demandas energéticas de alguns setores da economia local.

Há variadas possibilidades de combinações de aproveitamento de biogás, para Feliz/RS. Contudo, o trabalho indica o uso do gás na forma natural, produzido em biodigestores

distribuídos em diferentes propriedades, substituindo o consumo de GLP no Município em 40%, representando, assim, uma contribuição de 3,84% à matriz energética. Como destinação do resíduo sólido da biodigestão, indicou-se o uso como biofertilizantes.

Enfim, o aproveitamento o biogás, como energia alternativa é uma solução atraente e deve ser considerada em substituição a outras fontes de energia, assim como tem ocorrido em outras regiões do mundo, como, por exemplo, a Alemanha. O trabalho focou-se nos resíduos de estrume animal, mas o aproveitamento do biogás pode ser realizado a partir de outras formas de biomassa, tais como resíduos sólidos urbanos e restos agrícolas. Servindo, além de energia alternativa, como método de gerenciamento de resíduos.

## REFERÊNCIAS

ABASSI, T.; TAUSEEF, S. M.; ABASSI, S.A. **Biogas Energy**. New York: Springer, c2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4614-1040-9.pdf>><sup>5</sup>  
Acesso em: 27 ago. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 1. ed. Brasília, 2002. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2013.

\_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

BRASIL. Biogás e a sua tecnologia. **Série Estudos e Pesquisas**, Rio de Janeiro, n. 2, p. 1-36, fev. 1981.

\_\_\_\_\_. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plano Nacional de Agroenergia**. Brasília, DF, c2005. Disponível em: <<http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/cana/AGROENERGIA.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Comunicação Social. **A força da agricultura: 1860-2010**. Brasília, DF, 2010a. Disponível em: <[www.agricultura.gov.br/MapaPortalInternet/consultarpublicacao/editConsultarPublicacaoGrupo1.do?op=downloadArquivo&url=%2Fcomunicacao%2Fpublicacoes&publicacao.arquivo.idArquivo=4015](http://www.agricultura.gov.br/MapaPortalInternet/consultarpublicacao/editConsultarPublicacaoGrupo1.do?op=downloadArquivo&url=%2Fcomunicacao%2Fpublicacoes&publicacao.arquivo.idArquivo=4015)>. Acesso em 19 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010b. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 25 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2013**. Rio de Janeiro, c2013. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2013.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2013.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Saneamento. **Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil: PROBIOGÁS**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php/probiogas>>. Acesso em: 28 maio 2014.

BROWN, L. R. **Plan B 3.0: mobilizing to save civilization**. New York: W. W. Norton & Company, c2008.

<sup>5</sup> Acesso restrito à comunidade da UFRGS.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1999.

FELIZ. **Clima**. Feliz, 2013a. Disponível em: < <http://www.feliz.rs.gov.br/municipio/clima/>>. Acesso em: 11 set. 2013.

\_\_\_\_\_. **Demografia**. Feliz, 2013b. Disponível em: <<http://www.feliz.rs.gov.br/municipio/demografia/>>. Acesso em: 11 set. 2013

\_\_\_\_\_. **Economia**. Feliz, 2013c. Disponível em: <<http://www.feliz.rs.gov.br/municipio/economia/>>. Acesso em: 11 set. 2013.

\_\_\_\_\_. **Aspectos geográficos**. Feliz, 2013d. Disponível em: <<http://www.feliz.rs.gov.br/municipio/aspectos-geograficos/>>. Acesso em: 5 maio 2014.

FERRAZ, J. M. G.; MARRIEL, I. E. **Biogás: fonte alternativa de energia**. Sete Lagoas: Embrapa, 1980. Circular Técnica n. 3.

GIACAGLIA, G. E. O.; DIAS, S. F. D. S. **Parâmetros Técnicos Relativos à Tecnologia de Geração de Biogás em Biodigestores**. São Paulo: EPUSP, 1993. Boletim Técnico PMC n. 18.

GOOGLE MAPS. **Município de Feliz/RS**. [S. l.], 2014. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-29.4576008,-51.3087485,5937m/data=!3m1!1e3>> Acesso em: 26 maio 2014.

INFINITYBIOPOWER. **Könnern**. [Alemanha], c2014. Disponível em: <<http://infinitybiopower.com/biogas-2/weltec-biopower/projects/>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

INSTITUTO AMANHÃ. Uma revolução energética. **Guia sustentabilidade: meio ambiente**, [Porto Alegre], ano III, p. 48-92, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Censo Agropecuário**, [Rio de Janeiro], c2006. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430810&idtema=3&search=río-grande-do-sul|feliz|censo-agropecuário-2006>>. Acesso em: 24 maio 2013.

\_\_\_\_\_. Estimativa populacional dos municípios em 2012. **Sala de imprensa**, [Rio de Janeiro], 31 ago. 2012. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&idnoticia=2204&busca=1&t=ibge-divulga-estimativas-populacionais-municipios-201>>. Acesso em: 12 set. 2013.

\_\_\_\_\_. Censo 2010. **Estimativas populacionais**, [Rio de Janeiro], c2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=430810>>. Acesso em: 11 set. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Berlin, 15 abr. 2014. Disponível em: <[http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_final-draft\\_postplenary\\_technical-summary.pdf](http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft_postplenary_technical-summary.pdf)> Acesso em: 28 abr. 2014.

ITAIPU BINACIONAL. **Colombari comprova vantagens do biogás**. [Foz do Iguaçu], 20 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/print/3212>>. Acesso em: 19 nov. 2013.

KUHN, E. A. **Análise dos Fluxos de Materiais de um Município Brasileiro de Pequeno Porte**: o Caso de Feliz/RS. 2013. 281 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Aproveitamento de Dejetos Animais para Geração de Biogás. **Revista de Política Agrícola**, [S. l.], ano XV, n. 3, p. 28-35, jul./ ago./ set. 2006. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63324/1/Paginas-de-pol-agr-03-20064-p.-28-35.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2013.

LUCAS JÚNIOR, J. de; SOUZA, C. de F.; LOPES, J. D. S. **Construção e Operação de Biodigestores**. Viçosa: CPT, 2003. Manual n. 441.

MORENO, J. H.; GONZÁLES, E. M. Una propuesta para la introducción del concepto de energia en el bachillerato. **Enseñaza de las Ciencias**, [Barcelona], v. 8, n. 1, p. 23-30, 1990. Disponível em: <<http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v8n1p23.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. **Cultivos Energéticos y Cultivos Alimentarios**. Roma: FAO, 1981. Boletín de servicios agrícolas de la FAO n. 46.

PETROLEO BRASILEIRO SA. Áreas de atuação. **Pré-sal**. [S. l.], c2014a. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

\_\_\_\_\_. Serviços. **Densidade e poderes caloríficos superiores**. [S. l.], c2014b. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/imprimir/>>. Acesso em: 27 maio 2014.

PREJUÍZOS. Pelo menos 400 mil frangos morrem de calor no Vale do Taquari após falta de energia. **Campo e Lavoura**: Economia, Porto Alegre, 07 fev. 2014. Disponível em: <<http://zerohora.clicrbs.com.br/rs/economia/campo-e-lavoura/noticia/2014/02/pelo-menos-400-mil-frangos-morrem-de-calor-no-vale-do-taquari-apos-falta-de-energia-4412817.html?impressao=sim>>. Acesso em: 11 fev. 2014.

RIBEIRO, D. Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. In: \_\_\_\_\_ (Coord.). **Relatório Mudanças Climáticas e Segurança Energética**, Rio de Janeiro: Nova Brasileira, 2008. p. 1-67.

ROSA, L. P. (Coord.). Geração de Energia a partir de Resíduos do Lixo e Óleos Vegetais. In: TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**, Rio de Janeiro: Interciência, 2003. p. 93-161.

SGANZERLA, E. **Biodigestor**: uma solução. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SOUZA, S. N. M. de; COSTANZI, R. N. Produção de Energia na Agroindústria Utilizando Biogás Derivado de Biomassa Animal. In: ENCONTRO NACIONAL, 2. ENCONTRO

LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1. 2001, Canela. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2001. p. 337-343.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRA, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos**, [São Paulo], n. 79, p. 47-69, nov. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/nec/n79/03.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2013.

TRIGUEIRO, A. Sistema Elétrico Brasileiro enfrenta pressão durante o verão sem chuva. **Jornal da Globo**, Rio de Janeiro, 07 fev. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2014/02/sistema-eletrico-brasileiro-enfrenta-pressao-durante-o-verao-sem-chuva.html>>. Acesso em: 11 fev. 2014.

UNITED NATIONS ORGANISATION. United nations general assembly declares 2014 - 2024: Decade of Sustainable Energy for All. **News and media division**. New York, 21 dez. 2012. Disponível em: <<http://www.un.org/News/Press/docs/2012/ga11333.doc.htm>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

WILSON, M. **A energia**. Rio de Janeiro: José Olympio, c1968.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental and occupational cancers**. [S.l.], mar. 2011. Fact sheet n. 350. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs350/en/index.html>>. Acesso em: 13 nov. 2013.

## **APÊNDICE A – Fotos de visitas a Feliz/RS**



















