

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

HANELLE MACHADO TAVARES DE CAMARGO

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS PELA AGROPECUÁRIA E  
AGROINDÚSTRIA DE TOLEDO E REGIÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2016

HANELLE MACHADO TAVARES DE CAMARGO

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS PELA AGROPECUÁRIA E  
AGROINDÚSTRIA DE TOLEDO E REGIÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos – COPEG - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Toledo, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnóloga em Processos Químicos.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Bittencourt Sydney.

TOLEDO

2016

**TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

***HANELLE MACHADO TAVARES DE CAMARGO***

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS PELA AGROPECUÁRIA E  
AGROINDÚSTRIA DE TOLEDO E REGIÃO**

Trabalho apresentado como forma de avaliação para o Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Tecnologia em Processos Químicos da UTFPR, Campus Toledo, e aprovado pela banca examinadora abaixo\*.

---

Prof. Dr. Eduardo Bittencourt Sydney

---

Prof. Dra. Alessandra Novak Sydney

---

Prof. Dra. Viviane da Silva Lobo

Toledo, Junho de 2016.

\*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

*Dedico esse trabalho à família 4 e à Meg.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço por ter as quatro pessoas mais maravilhosas que existem ao meu lado: Luiz, Flávia, Laís e Matheus.

Ao meu pai (que também é a pessoa que eu mais admiro), por sempre me educar, me ensinar e me apoiar. Sua aprovação e orgulho é o que há de mais importante pra mim.

À minha mãe (que também é minha melhor amiga), por ter esse coração e essa empatia que ninguém mais tem. Ser filha de vocês me faz a pessoa mais sortuda desse mundo.

À Lali, minha irmã (que também é minha protegida), por ser a criatura mais difícil, estressante e divertida de lidar. Sou grata por sempre entender quando estive ocupada e facilitar minha vida. Seu abraço me conforta.

Ao Mat (que também é meu chão), por ser muito mais do que um melhor amigo, muito mais do que um companheiro. Você me compreende e me acalma quando ninguém mais consegue. A vontade de querer passar a minha vida ao seu lado é maior a cada dia.

O amparo, carinho, camaradagem e principalmente a paciência dos quatro foram essenciais para que eu concluísse esse trabalho e a faculdade em si. Amo vocês mais que tudo.

Ao meu orientador Dr. Eduardo Sydney, por seu auxílio, orientação e conhecimento. Admiro-te muito.

Por fim, agradeço a mim, por enfrentar meus medos, meus problemas e seguir em frente!

## RESUMO

CAMARGO, Hanelle M. T. de. **POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS PELA AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA DE TOLEDO E REGIÃO**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2016.

O biogás é um gás bruto proveniente da fermentação anaeróbica de matéria orgânica (biomassa). É constituído de metano (60-70%), gás carbônico (30-40%) e traços de nitrogênio, hidrogênio e gás sulfídrico, podendo ser utilizado (bruto ou purificado) como combustível devido ao seu poder calorífico. Dentre as principais vantagens da sua utilização como fonte alternativa de energia, a versatilidade quanto ao substrato é uma das mais atraentes, podendo ser utilizado desde lixo orgânico produzido em indústrias até dejetos de animais de uma fazenda. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial sócio-econômico-ambiental de produção de biogás a partir de resíduos sólidos, líquidos e de origem animal das atividades agropecuária e industrial de Toledo - Paraná e região, a fim de demonstrar os benefícios de sua utilização como geração de energia para o município. O presente trabalho contou com o levantamento da produção e características dos tipos de resíduos gerados na Região de Toledo, além do seu potencial de produção de biogás e a sua equivalência energética. Com os resultados encontrados foi permitido constatar que o município de Toledo possui um forte potencial para a geração e co-geração de energia em estabelecimentos rurais e indústrias agropecuárias, podendo trazer muitas vantagens para a região.

**Palavras-chave:** Potencial de produção de biogás. Geração de energia elétrica. Toledo – Paraná. Reaproveitamento de resíduos e dejetos.

## ABSTRACT

CAMARGO, Hannelle M. T. de. **PRODUCTION POTENTIAL OF BIOGAS FROM THE FARMING AND AGRO-INDUSTRY OF TOLEDO AND THE REGION**. Completion of course work, Federal Technological University of Paraná. Toledo, 2016.

The biogas is a raw gas coming from the anaerobic fermentation of organic matter (biomass). It consists of methane (60-70%), carbon dioxide (30-40%) and traces of nitrogen, hydrogen and hydrogen sulfide gas; it can be used to fuel due to its calorific value. Among main advantages of its use as an alternative energy source, versatility of the substrate is one of the most attractive and can be used from organic waste produced in urban residents up to waste of farm's animal. This study aimed to assess the socio-economic and environmental potential of biogas production from solid waste, liquid waste and of animal origin of agricultural and industrial activities of Toledo and region, in order to demonstrate the benefits of its use as generation energy for the city. The present work counted on the characterization and quantification of the types of waste generated in the Region of Toledo, in addition to their potential of biogas production and their energy equivalence. With the results was allowed to see the city of Toledo has a strong potential for co-generation and generation of energy in rural establishments and agricultural industries, and can bring many benefits to all.

**Keywords:** Production potential of biogas. Generation of electrical energy. Reuse of residues and waste. Toledo – Paraná.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico da relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume.....	15
Figura 2: Esboço de biodigestor em manta impermeável. ....	17
Figura 3: Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (com a ocorrência de sulfetogênese). ....	20
Figura 4: Evolução da Matriz Elétrica Brasileira de 2013 e 2014. ....	22
Figura 5: Evolução da Geração eólica de 2007 até 2014.....	23
Figura 6: Gráficos da representação em porcentagem do número de animais/grãos em relação ao todo.....	29
Figura 7: Gráfico da porcentagem de resíduos gerados por setor da economia de Toledo em 2014. ....	31
Figura 8: Gráfico do potencial de produção de biogás a partir de resíduos gerados pela Agropecuária de Toledo em 2014. ....	33
Figura 9: Gráfico da porcentagem de resíduos gerados por setor da economia de Toledo em 2014. ....	36
Figura 10: Gráfico do potencial de produção de biogás a partir de resíduos gerados pela Agroindústria de Toledo em 2014.....	37



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição média do biofertilizante proveniente de biomassa em geral.	15
Tabela 2: Equivalência de 1 Nm <sup>3</sup> de biogás em relação a outros combustíveis. ....	16
Tabela 3: Produção por setor Agropecuário e seu potencial da produção de biogás a partir de resíduos gerados.....	30
Tabela 4: Potencial de produção de biogás a partir de diferentes tipos de substrato. ....	34
Tabela 5: Consumo e número de consumidores de energia elétrica – 2014 .....	34
Tabela 6: Quantidade de energia elétrica que poderia ser produzida a partir do biogás.....	34
Tabela 7: Produção por setor Agroindustrial e seu potencial da produção de biogás a partir de resíduos gerados.....	35
Tabela 8: Quantidade de energia elétrica que poderia ser produzida a partir do biogás.....	38

## LISTAS DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ANP	Associação Nacional do Petróleo
cal	calorias
g	grama
GEE	gases do efeito estufa
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GWh	gigawatt-hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	kilo
kWh	kilowatt-hora
L	litro
m <sup>3</sup>	metro cúbico
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MWh	megawatt-hora
Nm <sup>3</sup>	normal metro cúbico
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ton	tonelada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	12
1.1.1 Objetivo Geral .....	12
1.1.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 BIOGÁS E BIOFERTILIZANTES .....	14
2.1.1 Poder Calorífico .....	15
2.2 BIORREATORES .....	16
2.2.1 Biorreator de um estágio .....	17
2.2.2 Biorreator de dois estágios .....	18
2.2.3 Biorreator em Batelada .....	18
2.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	19
2.4 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA .....	21
2.5 BIOGÁS E A EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA .....	24
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1 ESTUDO TEÓRICO/BIBLIOGRÁFICO .....	25
3.2 LEVANTAMENTO DOS TIPOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS PELAS ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS DA CIDADE .....	25
3.3 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	26
3.4 PESQUISA SOBRE DEMANDA DE ENERGIA .....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>28</b>
4.1 QUANTIDADE DE UNIDADES GERADORAS DE RESÍDUOS .....	28
4.2 AGROPECUÁRIA .....	29
4.2.1 Geração de resíduos pela agropecuária .....	30
4.2.2 Potencial de produção de biogás .....	32
4.2.3 Potencial de geração de energia elétrica .....	33
4.3 AGROINDÚSTRIA .....	355
4.3.1 Geração de resíduos pela agroindústria .....	355
4.3.2 Potencial de produção de biogás .....	37
4.3.3 Potencial de geração de energia elétrica .....	38
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>39</b>
<b>6 SUGESTÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e melhoramento de tecnologias alternativas para a produção de energia térmica e elétrica a partir de fontes renováveis vêm ganhando destaque nos últimos anos, a fim de diminuir a utilização do petróleo, uma matéria-prima fóssil finita. O Brasil recentemente alcançou o quinto lugar na lista dos países que mais investem em energia verde. Isso se deve à necessidade de diversificação da matriz energética nacional, altamente dependente da energia hidráulica (FIEP, 2014).

Neste contexto, o biogás vem ganhando destaque por apresentar diversos benefícios: baixa emissão de gases poluentes; produção de biofertilizantes; possibilidade de produção em aterros sanitários, dando utilidade a eles, bem como o reaproveitamento de resíduos industriais promovendo a versatilidade energética; a independência de condições climáticas (diferente da energia eólica e solar) (ESTADÃO, 2011), utilização na geração de energia elétrica ou térmica ou na purificação ao biometano (mesmas características do gás natural). Além destas vantagens o que caracteriza o biogás e o diferencia de todas as outras é a produção descentralizada: por ser produzido a partir de biomassa e através de uma técnica simples, o biogás pode ser facilmente produzido por propriedades agrícolas e industriais, que podem utilizar resíduos das suas atividades na geração de energia (BLEY JR, 2015).

O biogás é um gás combustível de grande poder calorífico que provém da fermentação anaeróbia da matéria orgânica. Ele é constituído de 60 a 70% de metano, 30 a 40% de gás carbônico e traços de nitrogênio, hidrogênio e gás sulfídrico (NOGUEIRA, 1986).

Uma das mais valiosas vantagens da produção de biogás como fonte alternativa de energia é a sua versatilidade quanto ao substrato, podendo ser utilizado desde lixo orgânico produzido em residências urbanas até dejetos de animais de uma fazenda, ou seja, praticamente qualquer matéria orgânica pode ser utilizada para produzir biogás. Devido a isso, a digestão anaeróbia vem sendo tratada como uma das soluções para os resíduos agropecuários, esgotos urbanos e aterros sanitários (PRATI, 2010).

Cada matéria-prima possui seu potencial de produção de biogás. Resíduos fibrosos (bagaço da cana-de-açúcar) apresentam um menor potencial de geração de biogás; já as biomassas ricas em amido e proteínas (fezes e restos de abatedouros) possuem um potencial mais elevado (PRATI, 2010).

Segundo Barbosa e Langer (2011), o biogás pode ser uma das soluções para os agricultores que sofrem com a destinação inadequada de dejetos de animais que provocam inúmeros problemas como poluição de água e solos. Com o aproveitamento desse tipo de resíduos para a produção de biogás, as dificuldades com a contaminação diminuirão, além de acarretar uma redução nos gastos de energia elétrica e térmica, uma vez que o gás produzido poderia ser consumido diretamente ou comercializado. Além disso, o biogás pode ser purificado a biometano, um gás com características similares a do gás natural e que pode ser misturada a ele. Recentemente (BRASIL, 2015), a Agência Nacional do Petróleo aprovou a Resolução nº 8, que regulamenta a produção e comercialização do biogás e do biometano. Essa resolução permite que esse gás seja tratado de maneira análoga ao gás natural, desde que atenda às exigências de qualidade do produto pré-estabelecidas (SCANIA, 2015).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial sócio-econômico-ambiental de produção de biogás a partir de resíduos sólidos, líquidos e de origem animal das atividades agropecuária e industrial de Toledo e região.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Fazer o levantamento dos tipos de resíduos sólidos e líquidos gerados pelas atividades agropecuárias e industriais na região de Toledo que podem ser utilizados para a produção de biogás;
- Caracterizar e quantificar a produção desses resíduos e relacioná-los com o potencial de geração de biogás;
- Buscar informações a respeito da quantidade e tipos de energia consumida por empresas e indústrias da cidade e região;
- Propor soluções sustentáveis de geração e consumo de energia no diferentes processos agroindustriais avaliados;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIOGÁS E BIOFERTILIZANTES

Apesar de o biogás ter sido descoberto por Alexandre Volta em 1776, na Itália, como resultado da decomposição de restos vegetais em pântanos confinados, só em 1857 em Bombaim, Índia, que foi construído o primeiro biorreator destinado a produzir gás combustível para um hospital de hansenianos (NOGUEIRA, 1986). Segundo a ANP (2015), o biogás é o “gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos”, um combustível de grande poder calorífico proveniente da fermentação anaeróbica de matéria orgânica (biomassa). É constituído de metano (60-70%), gás carbônico (30-40%) e traços de nitrogênio, hidrogênio e gás sulfídrico. A proporção de seus componentes varia com o tipo de biomassa que foi fermentado e como esse processo ocorreu (NOGUEIRA, 1986).

A biomassa aquosa que resta no biodigestor depois da degradação da matéria orgânica é chamada de biofertilizante. É rica em nutrientes, incluindo nitrogênio, fósforo, potássio e húmus e pobre em carbono, possuindo um enorme poder fertilizante (SGANZERLA, 1983). Nos últimos anos, o biofertilizantes vem substituindo os fertilizantes químicos devido as suas maiores vantagens, dentre elas (WINROCK, 2008):

- Possibilidade da sua utilização como corretor de acidez devido ao seu pH próximo ao neutro (7,0-8,5);
- É absorvido mais rápido pelas plantas, devido a sua decomposição avançada;
- Não possui odor;
- Isento de microorganismos patogênicos;
- Sua utilização abrange qualquer tipo de cultura;
- Torna o solo mais poroso, facilitando a penetração de ar e água.

A Tabela 1 demonstra a composição geral do biofertilizante produzido na digestão anaeróbica.

Tabela 1: Composição média do biofertilizante proveniente de biomassa em geral.

Composição	Kg/m <sup>3</sup>
Nitrogênio (N)	0,89
Fósforo (P)	0,64
Potássio (K)	0,72
pH	7,6

Fonte: SGANZERLA, 1983,

### 2.1.1 Poder Calorífico

O biogás tem como seu principal componente o metano e, se for utilizado como combustível, a porcentagem de metano está diretamente ligada ao poder calorífico do gás renovável - como mostra a figura 1 -, devido à diminuição de impurezas não combustíveis, que atrapalham a eficiência da queima.

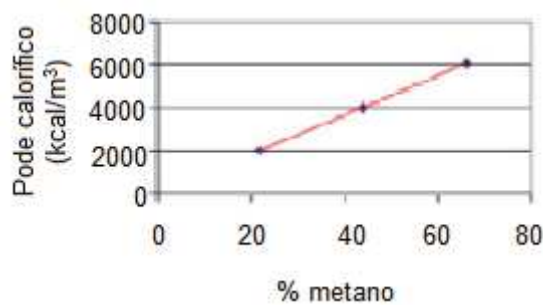


Figura 1: Gráfico da relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume. Fonte: ALVES, 2000.

A comparação da capacidade energética do biogás com outras fontes de energia é determinada a partir da eficiência de combustão e do poder calorífico. A tabela 2 traz essa comparação.



Tabela 2: Equivalência de 1 Nm<sup>3</sup> de biogás em relação a outros combustíveis.

<b>Combustível</b>	<b>Quantidade equivalente a 1 Nm<sup>3</sup> de biogás</b>
Carvão vegetal	0,8 kg
Lenha	1,5 kg
Óleo	0,55 L
Querosene	0,58 L
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	0,45 L
Carvão mineral	0,74 kg
Gasolina Amarela	0,61 L
kWh	1,43
Álcool carburante	0,80 L

Fonte: CARDOSO FILHO *apud* FIGUEIREDO, 2011.

Como visto, o biogás poderia facilmente substituir outros combustíveis utilizados na indústria e ser aplicado como combustível de queima para geração de energia elétrica e térmica (FIGUEIREDO, 2007).

## 2.2 BIORREATORES

Os biorreatores, também denominados biodigestores, são equipamentos que fornecem condições apropriadas para que microorganismos anaeróbios possam degradar, fermentar e digerir um determinado substrato (matéria orgânica) a fim de produzir biogás e biofertilizante. O produto é coletado e tratado para a sua utilização como fonte de energia térmica e elétrica. A figura 2 apresenta o esboço de um biodigestor com manta impermeável.

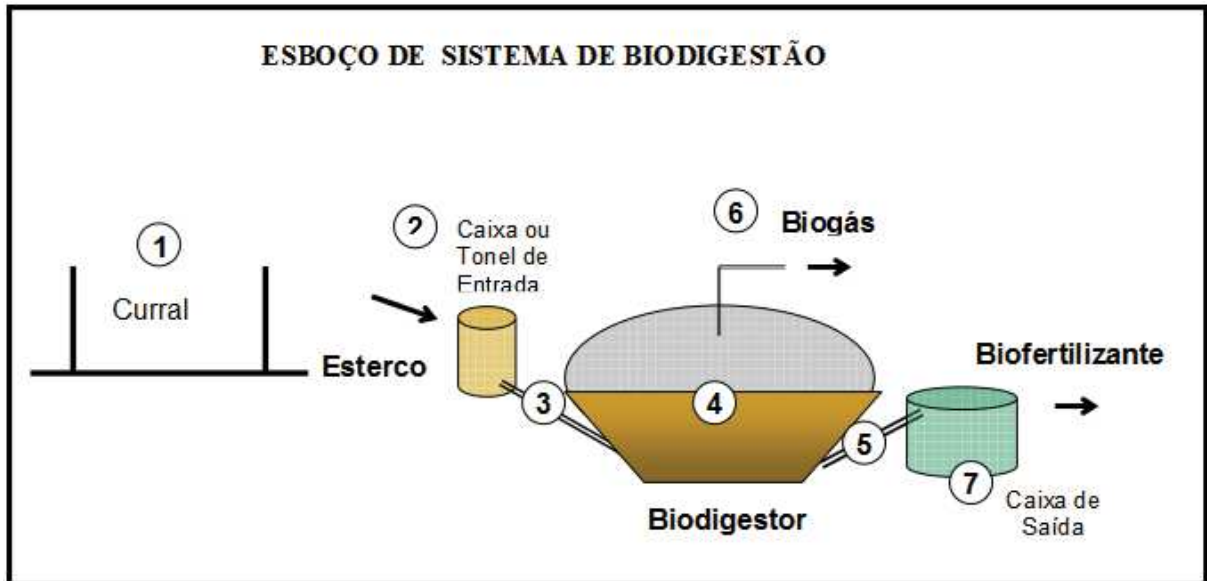


Figura 1: Esboço de biodigestor em manta impermeável.  
Fonte: (WINROCK, 2008).

O curral (1) é onde a matéria orgânica é depositada; a caixa ou tonel de entrada (2) é onde o dejetos é misturado com água – se necessário - antes de ser disposto no biodigestor; a tubulação de entrada (3) é a ligação entre a caixa e o biodigestor que permite a adição do substrato; o biodigestor (4), neste caso, é revestido por uma manta plástica e totalmente vedado; a tubulação de saída (5) é o canal que leva o material líquido que já foi fermentado, enquanto que a tubulação de saída do biogás (6) canaliza o mesmo para tratamento ou uso direto; a caixa de saída (7) é o reservatório que armazenará o líquido fermentado para sua utilização como biofertilizante (WINROCK, 2008).

Os biorreatores usados para a produção de biogás podem ser contínuos (de um estágio e de dois estágios) ou descontínuos (batelada).

### 2.2.1 Biorreator de um estágio

O sistema de um estágio contínuo possui esse nome porque as etapas de acidogênese e metanogênese ocorrem no mesmo reator. É o mais utilizado por sua simplicidade, menor custo e sofrer falhas técnicas diminutas (PROSAB, 2003).

Esse reator possibilita a utilização de substrato úmido e seco. O substrato úmido deve receber um tratamento prévio para assumir uma consistência de biossólidos (cerca de 15% de sólidos totais). A desvantagem é a perda de um percentual de sólidos totais voláteis, diminuindo a quantidade de biogás produzido. A digestão seca com 20-40% de sólidos totais pode ser utilizada sem nenhum pré-tratamento; acima de 50%, o substrato deve ser diluído em água (MATA-ALVAREZ, 2003).

### 2.2.2 Biorreator de dois estágios

Diferentemente do biorreator descrito anteriormente, o sistema contínuo de dois estágios utiliza dois reatores: no reator 1 é onde ocorre a ação dos microorganismos responsáveis pela hidrólise e acidogênese, e no reator 2 ocorre a fase de acetogênese e metanogênese. Suas vantagens estão no seu bom desempenho quando há uma heterogeneidade na matéria orgânica, presença de compostos inibidores ou uma alimentação descontínua. Devido a isto, ele é empregado geralmente quando há substratos muito complexos, que precisariam passar por um pré-tratamento se introduzidos em um reator de um estágio (MATA-ALVAREZ, 2003).

### 2.2.3 Biorreator em Batelada

No biorreator de batelada não há entrada ou saída de substrato/produtos de forma contínua, ou seja, os digestores são preenchidos com a matéria orgânica em modo seco (30-40% de sólidos totais), vedado e feito todo o ciclo de fermentação em único reator de uma só vez; no final do processo, os resíduos e os produtos são totalmente removidos e o processo é refeito com uma nova batelada de matéria orgânica. Sua vantagem em relação aos biorreatores contínuos é a possibilidade de controle das condições e variáveis do sistema, possibilitando uma produção muito maior de biogás (PRESAB, 2003).

## 2.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é um processo biológico no qual bactérias metanogênicas degradam compostos orgânicos complexos na ausência de oxigênio. Este processo ocorre através de várias reações oxidativas, tendo como produtos: metano (60-70%), dióxido de carbono (30-40%), nitrogênio, hidrogênio e gás sulfídrico (traços). Nos últimos anos tem sido avaliada como alternativa para o destino do lixo orgânico (DEZOTTI, 2008). A digestão anaeróbia é o método mais viável para conversão de matéria orgânica em energia e ocorre em 4 etapas.

A hidrólise é a etapa inicial em que a matéria orgânica é hidrolisada e transformada em moléculas menores, como ácidos graxos, aminoácidos e carboidratos, possibilitando a passagem dos mesmos pelas paredes celulares dos microorganismos fermentativos (EEA, 2004). Os fatores que influenciam o grau de hidrólise são: a temperatura, pH, agitação, tamanho das partículas, composição e concentração do substrato e nutrientes e o tempo de retenção do substrato no biorreator (FARRET, 2010). Ela é a etapa limitante, pois a quantidade de metano que será produzido depende da quantidade de matéria orgânica que será hidrolisada (EEA, 2004).

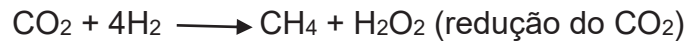
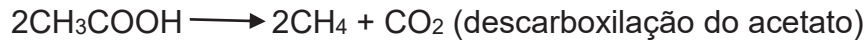
Acidogênese é a fase em que as moléculas oriundas da hidrólise são metabolizadas, formando ácidos graxos de cadeia curta, ácido acético, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> (ARCHER; KIRSOP, 1990).



A acetogênese ocorre com a oxidação dos produtos da fase anterior, gerando um substrato apropriado para as bactérias metanogênicas (responsáveis pela 4ª etapa). Forma, principalmente, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e acetato (ARCHER e KIRSOP, 1990).

Metanogênese é a etapa mais importante da digestão para a produção de biogás, pois é nela que ocorre a degradação dos substratos provenientes das etapas anteriores em metano e dióxido de carbono. As bactérias metanogênicas do tipo acetoclásticas utilizam como substrato principal o acetato, mas são capazes de

transformar ácido fórmico, metanol, metilamina,  $H_2$  e  $CO_2$  em metano. Já as do tipo hidrogenotróficas utilizam  $CO_2$  e  $H_2$  como substrato (EEA, 2004).



Em alguns casos, há a ocorrência de uma quinta etapa, denominada sulfetogênese, na qual bactérias redutoras de sulfato reduzem sulfatos e sulfitos em sulfetos. Essa etapa é indesejável, já que esses microorganismos competem com as bactérias fermentativas da primeira e segunda fase, interferindo e diminuindo a eficiência e o rendimento de biogás (EEA, 2004).

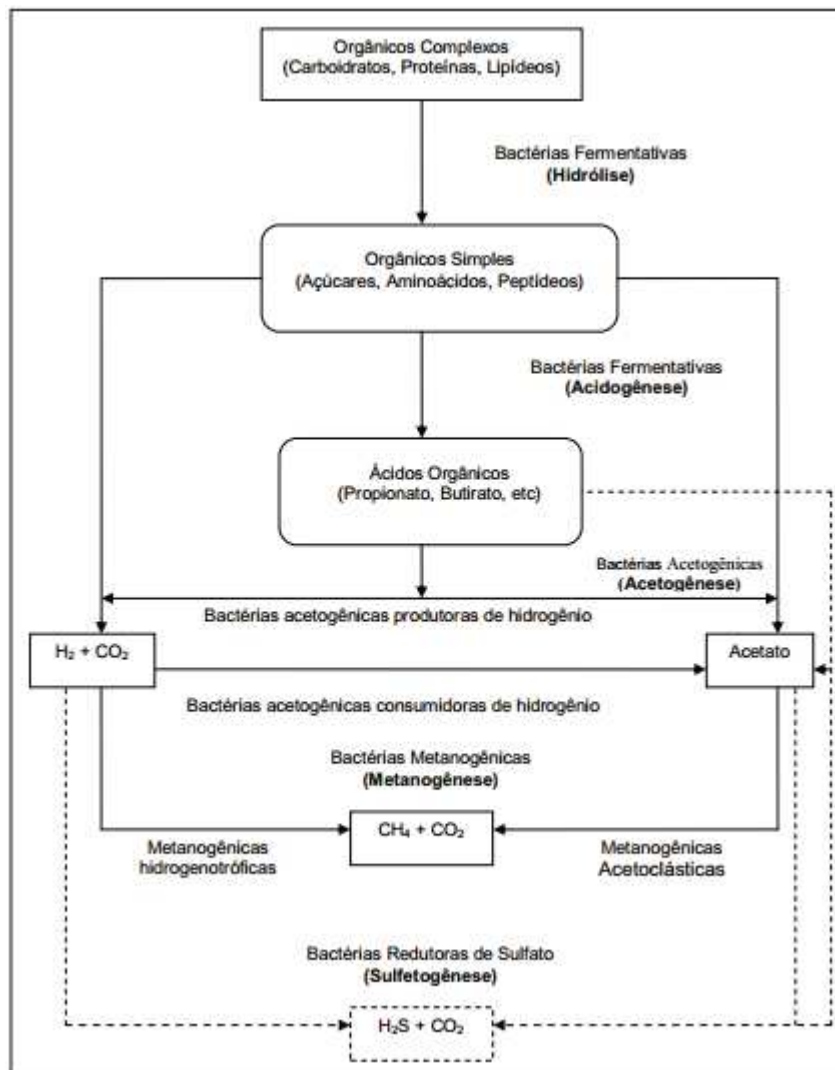


Figura 3: Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (com a ocorrência de sulfetogênese).

Fonte: CHERNICHARO, 1997.

Dentre as inúmeras vantagens de se utilizar digestão anaeróbia para a produção de biogás, estão (CHERNICHARO, 1997):

- Ambientais:
  - Sustentabilidade elevada do sistema;
  - Baixa emissão de poluentes;
  - Reaproveitamento de resíduos;
  - Menor dependência de questões climáticas;
  - Diminuição do mau cheiro perto de aterros sanitários.
- Econômicas:
  - Geração de renda/economia de energia;
  - Geração de renda para o produtor familiar;
  - Aumento da concorrência no mercado de energia;
  - Alternativa viável para a substituição de fonte de energia elétrica/térmica;
  - Participação na comercialização de créditos de carbono;
  - Criação de novos produtos (fertilizantes).
- Sociais:
  - Criação de postos de trabalhos;
  - Diminuição do trabalho de catadores de lixo;
  - Aumento do desenvolvimento tecnológico sobre o biogás e sua produção.
  - Conscientização da população em relação ao desenvolvimento e realização de práticas sustentáveis e de produção de energia limpa.
- Outros:
  - Possibilidade de utilização em pequena escala;
  - Baixa necessidade da adição de nutrientes.

## 2.4 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

A matriz energética nacional é um coletivo de fontes de energia (renováveis e não renováveis) utilizadas nas atividades econômicas e no desenvolvimento de um país.

Cerca de 70% da energia elétrica no Brasil é produzida por mais de mil usinas hidrelétricas espalhadas por todo o país. Este número é alto devido à existência de grandes rios e por uma quantidade grande de chuvas no território nacional, além de ser mais barata e produzir menos CO<sub>2</sub> do que a termelétricas (gás natural, petróleo, carvão mineral e biomassa), que fica em segundo lugar com 25% de toda produção (NEOENERGIA, 2013).

Comparando os dados de 2013 e 2014 mostrados na Figura 4, percebe-se a diminuição da utilização da energia hidráulica (5,4%). Porém houve um aumento significativo da utilização de energia fóssil, ou seja, mesmo sendo um dos maiores investidores de energia renovável, o Brasil continua aumentando a sua dependência pelo petróleo, gás natural e carvão.

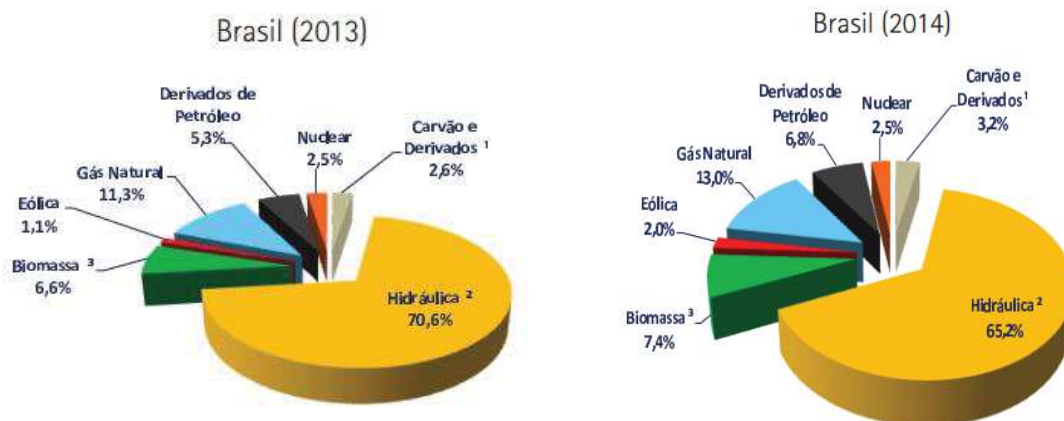


Figura 2: Evolução da Matriz Elétrica Brasileira de 2013 e 2014.  
Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE<sup>b</sup>), 2015.

A grande utilização de hidrelétricas para a produção de energia pode ser negativa, pois esta pode possuir interferências do clima; como ocorreu no início do ano de 2015. Nesse período houve uma estiagem severa que causou a diminuição e até a seca dos reservatórios de água e usinas hidrelétricas, aumentando em mais de 30% a tarifa de luz e causando uma grande crise elétrica que afetou centenas de milhares de pessoas, principalmente na região sudeste. Este evento mostrou a importância da diversificação de fontes de energia no país (G1, 2015).

Uma fonte de energia que vem crescendo nos últimos anos é a biomassa, que normalmente é utilizada para queima. Em 2014 cerca de 10% de toda a matriz energética brasileira foi produzida através da queima de resíduos sólidos urbanos,

cana-de-açúcar, lixívia, casca de arroz e de aveia, etc. Porém, o potencial da biomassa do nosso país é muito maior, equivalente a quatro hidrelétricas da Itaipu. Um exemplo de utilização de biomassa como fonte de energia é uma fábrica de aveia no Rio Grande do Sul que queima 2,5 toneladas de casca/hora, obtendo uma economia de 30% de energia (G1, 2014).

A energia eólica vem tendo uma utilização muito vasta por todo o Brasil. Na figura 5 é possível observar que no ano de 2007 aproximadamente 663 GWh eram produzidos pelas forças do vento. Já em 2014 esse número aumentou para 12.210 GWh.

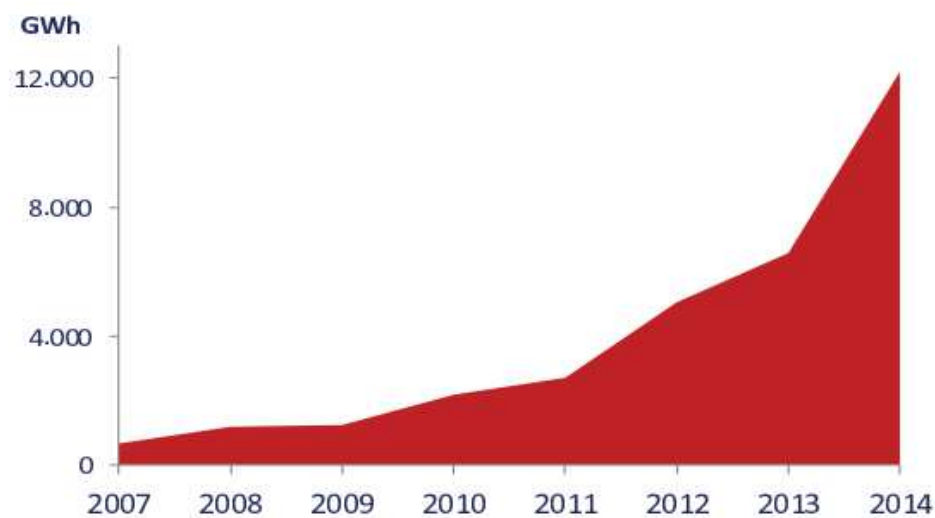


Figura 3: Evolução da Geração eólica de 2007 até 2014.  
Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE<sup>b</sup>), 2015.

A desvantagem da energia eólica é a sua dependência de um fenômeno natural: o vento. Não é o caso do Brasil, mas há países que têm um potencial limitado devido às barreiras geográficas, como as montanhas que prejudicam a força e a direção dos ventos. As principais centrais de aerogeradores estão localizadas nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Além disso, a produção de energia continua centralizada nessas pequenas áreas geográficas do território nacional viáveis para produção deste tipo de energia (NEOENERGIA, 2013).

As usinas nucleares representam 1,1% da matriz elétrica devido a sua complexidade tecnológica e dificuldade no tratamento e descarte de seus resíduos (NEOENERGIA, 2013).



## 2.5 BIOGÁS E A EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Segundo a Avaliação de Desempenho Ambiental do Brasil, relatório feito pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 2015, o Brasil está entre os países que menos emitem CO<sub>2</sub> oriundo de energia fóssil, estando abaixo da meta fixada para 2020 (OCDE, 2015). Isso faz com que a emissão de metano na produção e uso de energia no Brasil seja bem baixa em relação a outros países como os Estado Unidos (7 vezes menos) e China (3 vezes menos) devido à sua grande utilização de energia limpa e renovável (EPE<sup>a</sup>, 2014).

A utilização do biogás para a produção de energia elétrica pode promover a diminuição do lançamento de GEE na atmosfera e conquista de crédito de carbono (certificados emitidos quando ocorre a redução do lançamento de GEE ou a captura dele) para a comercialização e ser incluída no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) - instrumento criado no Protocolo de Kyoto que visa auxiliar a redução das emissões dos GEE (LANDIM; AZEVEDO, 2008).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho foi realizado no município de Toledo e ocorreu em 4 etapas: 1- Estudo teórico/bibliográfico; 2- Levantamento da quantidade de resíduos sólidos pelas atividades agropecuárias da cidade que poderiam ser utilizados para a geração de biogás; 3- Quantificação desses resíduos; 4- Pesquisa sobre demanda de energia.

#### **3.1 ESTUDO TEÓRICO/BIBLIOGRÁFICO**

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica sobre o mecanismo da digestão anaeróbia, os principais resíduos que podem servir de substrato e seu potencial, além de citar conceitos, vantagens, desvantagens e dificuldades relacionadas à produção deste gás.

#### **3.2 LEVANTAMENTO DOS TIPOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS PELAS ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS DA CIDADE**

Para a enumeração dos tipos de resíduos foram coletados dados e informações estatísticas em documentos eletrônicos e editais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Prefeitura de Toledo, além de artigos científicos relacionados ao tema. As principais atividades agropecuárias em funcionamento foram analisadas e escolhidas de acordo com a quantidade de resíduo gerado.

### 3.3 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS.

Para a quantificação dos resíduos formados foi feita uma pesquisa do número de animais e do montante de grãos produzidos na região toledense no ano de 2014 e, em seguida, o potencial de geração de biogás por unidade geradora. Os dados de produção de resíduos por animal/grão cultivado foram extraídos de artigos pertinentes ao assunto.

Foi determinada a quantidade de biogás que poderia ser produzido a partir dos resíduos escolhidos através das equações 1 e 2:

$$X_1 = N_a \times Y \quad (1)$$

$X_1$ : massa de resíduos em kg gerados por todas as unidades geradoras

$N_a$ : número de unidades geradoras

$Y$ : massa de resíduos em kg gerados por uma unidade geradora em um ano

$$X_2 = V_b \times X_1 \quad (2)$$

$X_2$ : volume de biogás em  $m^3$  que pode ser produzido com todo o resíduo gerado

$V_b$ : volume de biogás em  $m^3$  gerado por 1 kg de resíduo animal/restos da plantação de grãos

$X_1$ : valor determinado na primeira equação.

Primeiramente foi determinada a quantidade de dejetos produzidos por ano em função do número de animais ou de volume de grãos. A partir dessa determinação e do conhecimento de potencial de produção de biogás por unidade de dejetos/restos de cultivo de grãos, foi definido o montante de biogás que poderia ser produzido a partir do volume fornecido.

Com os resultados do potencial de geração de biogás a partir dos resíduos mais gerados em Toledo, foi possível realizar uma comparação da eficiência e do custo da criação desse tipo de energia em comparação com as utilizadas

atualmente. Para isso, foi necessário o uso da tabela 6 que analisa todos os tipos de energia e seu poder calorífico em relação ao biogás.

### 3.4 PESQUISA SOBRE DEMANDA DE ENERGIA

Após a pesquisa sobre o potencial de geração de biogás utilizando os resíduos produzidos em Toledo, foi feito um levantamento dos tipos de energia mais utilizadas na cidade e a sua demanda a fim de se fazer uma estimativa da quantidade de energia elétrica convencional que poderia ser economizada. A equação utilizada para a conversão de volume de biogás para equivalência é mostrada a seguir:

$$E_{eb} = X_2 \times 1,43 \text{ kWh} \quad (3)$$

$E_{eb}$ : quantidade de energia elétrica que pode ser produzida pelo biogás

$X_2$ : volume de biogás em  $m^3$  que pode ser produzido com todo o resíduo gerado

1,43 kWh: energia que  $1m^3$  de biogás produz (CARDOSO FILHO *apud* FIGUEIREDO, 2011).

A comparação do consumo de energia elétrica tradicional em Toledo com o potencial de produção de energia elétrica a partir do biogás foi realizado com a assistência da tabela 6.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a revisão bibliográfica deste trabalho ser concluída, foi realizada uma análise das características econômicas da cidade em questão e uma pesquisa dos tipos de resíduos gerados.

Toledo faz parte de uma das 39 microrregiões do estado brasileiro do Paraná, pertencendo à mesorregião Oeste Paranaense. Sua principal característica econômica é a agroindústria, especialmente a criação de suínos (3º maior produtor nacional), frangos (1º do estado) e a produção de leite (20º maior produtor nacional) e grãos (milho, trigo e soja, principalmente) (IBGE<sup>a</sup>, 2013).

Todas estas atividades geram grandes quantidades de resíduos: a agricultura gera resíduos lignocelulósicos (palhas, grãos descartados, bagaços); os abatedouros, resíduos proteicos (carnes e cortes descartados, carcaça, sangue); da pecuária tem-se fezes, urina e águas de lavagem. Somam-se, ainda, os resíduos sólidos e líquidos provenientes das indústrias de transformação e processamento existentes na região (laticínios, farmacêutica, cervejarias, ração animal, entre outras) (IBGE<sup>a</sup>, 2013).

Com base no levantamento de dados a partir de documentos oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Prefeitura de Toledo, os resultados a seguir encontrados referem-se à agroindústria e agropecuária da região toledense e seu potencial de produção de biogás.

### 4.1 QUANTIDADE DE UNIDADES GERADORAS DE RESÍDUOS

É possível observar na figura 6 juntamente com a tabela 5 que a criação de aves representa 92% do total dos principais rebanhos na cidade com aproximadamente 6,3 milhões de cabeças, seguido dos suínos com 7% e bovinos (1%). O número de frangos é tão relevante em virtude da existência de indústrias de grande porte de criação e abate avícola na região.

Já na agricultura, o milho é o grão responsável por mais da metade da colheita obtida em 2014, com 346.200 toneladas. A soja corresponde a 39% do total de grãos colhidos em Toledo em relação à soma mais expressiva.

Segundo O Diário de Maringá (2015), esses valores altos de produção desses dois grãos se devem ao clima favorável que ocorreu durante todo o ano de 2014 e a importância que esses têm para a economia no oeste paranaense. O aipim e o trigo somam 4% da produção agrícola com 8.100 e 19.200 toneladas, respectivamente.

Vale ressaltar que as porcentagens citadas se referem às principais culturas de animais e grãos da cidade, ou seja, as que possuem um montante significativo na agropecuária de Toledo. As criações de outras espécies não são tão expressivas quanto às citadas neste trabalho.

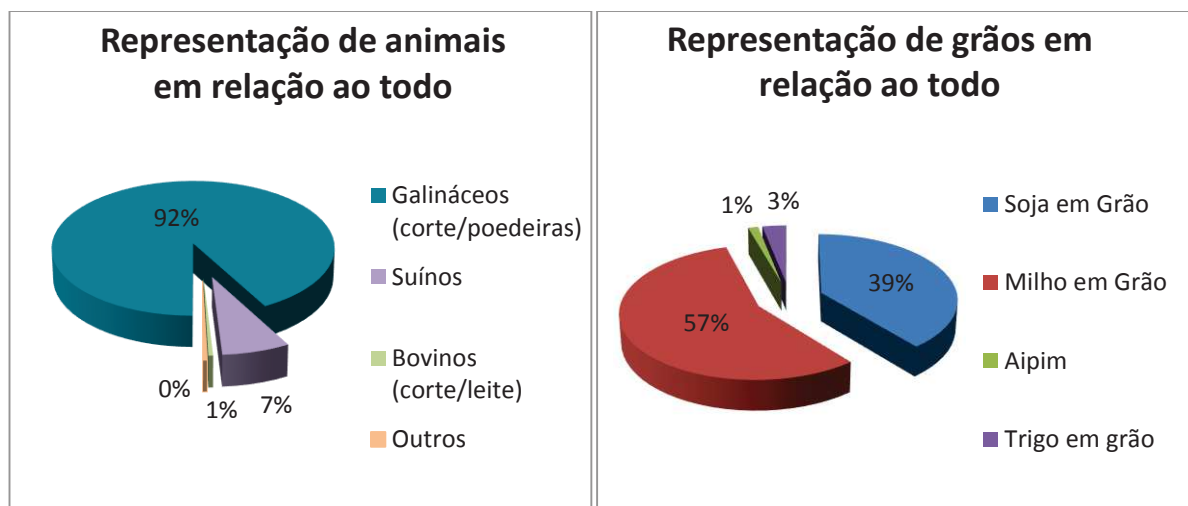


Figura 4: Gráficos da representação em porcentagem do número de animais/grãos em relação ao todo.

## 4.2 AGROPECUÁRIA

A tabela 3 mostra os tipos de resíduos gerados pela agropecuária de Toledo, o seu montante e o potencial de geração de biogás.

Tabela 3: Produção por setor Agropecuário e seu potencial da produção de biogás a partir de resíduos gerados.

Setor na economia (criação ou produção)	Quantidade (unidades*)	Resíduos produzidos por unidade (kg/dia)	Resíduos Produzidos (kg/ano) por unidade	Resíduos Produzidos Geral (ton/ano)	Volume de biogás produzido por unidade (m <sup>3</sup> /dia)
Suínos	710.512,00	2,25	821,25	5,83x10 <sup>5</sup>	1,20x10 <sup>5</sup> até 1,42x10 <sup>5</sup>
Bovinos (corte/leite)	48.813,00	10,00	3650,00	1,78x10 <sup>5</sup>	1,95x10 <sup>4</sup> até 2,39x10 <sup>4</sup>
Codornas	44.000,00	0,028	10,22	4,98x10 <sup>3</sup>	60,37
Caprinos	800,00	1,64	598,60	4,78x10 <sup>2</sup>	52,60 até 80,22
Ovinos	3.200,00	2,19	799,35	2,56x10 <sup>3</sup>	280,55 até 427,83
Galináceos (corte/poedeiras)	6.298.766,00	0,18	65,70	4,13x10 <sup>5</sup>	1,02x10 <sup>5</sup> até 1,13x10 <sup>5</sup>
Trigo em grão	19.200,00	3,01 a 4,11	1100 a 1500	21.120 a 28.800	-**
Soja em grão	239.800,00	6,85	2500	5,99x10 <sup>5</sup>	-
Milho em grão	346.200,00	6,30 a 7,40	2300 a 2700	7,96x10 <sup>5</sup> a 9,35x10 <sup>5</sup>	-
<b>Total</b>	-	-	-	<b>2,74x10<sup>6</sup>***</b>	<b>2,61x10<sup>5</sup>***</b>

Unidade\*: cabeça, litro ou tonelada.

-\*\*: não há uma quantidade significativa de biogás produzido utilizando apenas os resíduos gerados pela plantação de milho, soja ou trigo. Porém, estudos constataram que a adição de uma porcentagem desses substratos auxilia no aumento da eficiência da produção de biogás.

\*\*\*: a determinação do total teórico de resíduos produzidos e volume de biogás foi realizada a partir das médias de cada variável.

Fonte: DIAS *et al*, 2012; SGANZERLA, 1983; IBGE<sup>c</sup>, 2015.

#### 4.2.1 Geração de resíduos pela agropecuária

Para a determinação da quantidade de resíduos gerados por cada setor, foi utilizada a equação 1 (p.27). A figura 7 mostra as frações de rejeitos gerados por produção em relação ao todo na cidade de Toledo.

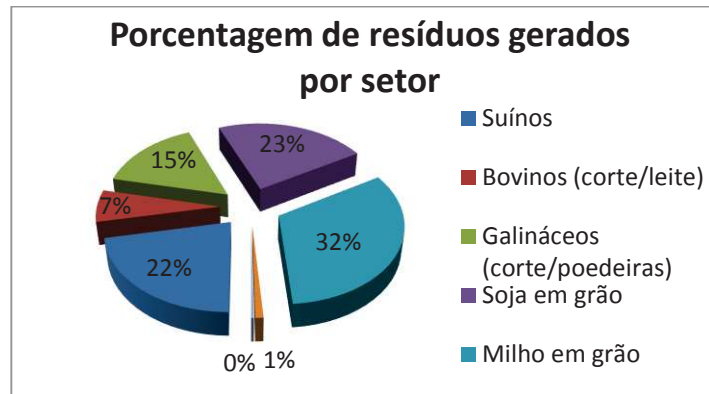


Figura 5: Gráfico da porcentagem de resíduos gerados por setor da economia de Toledo em 2014.

Apesar de Toledo ser considerada como uma cidade de pequeno porte em termo populacional, esta tem um vasto potencial poluidor e de geração de resíduos em razão da ampla atividade de pequenos e médios produtores agropecuários e das grandes indústrias de abate de animais (especialmente aves e suínos) e laticínios.

Como mostra a figura 7, no ano de 2014 a agropecuária da cidade produziu em média 2,74 milhões de toneladas de resíduos de origem animal e vegetal. Desse montante, 55% são gerados pela plantação de milho e soja, 22% de suínos e, apesar de o número de galináceos representar a maior parte do total de cabeças, esse tipo de criação é responsável por apenas 15% dos resíduos gerados devido a baixa produção interna de volume de fezes por ave.

A quantidade de dejetos produzidos pelos rebanhos é preocupante, pois se este tipo de resíduos não for tratado de forma correta, pode acarretar diversos impactos ambientais, tais como: contaminação do solo através de níveis tóxicos de nutrientes em consequência do acúmulo de dejetos, contaminação das águas superficiais e subterrâneas devido à disposição inadequada de resíduos líquidos com alta carga orgânica, e a ocorrência de eutrofização (SILVA; BASSI, 2012).

O milho e a soja se destacam na geração de resíduos, pois cada tonelada de grão colhido promove em torno de 2,5 toneladas de resíduos. O trigo não representa uma porcentagem significativa de restos do plantio devido a pouca atividade de cultura na região (DIAS *et al*, 2012).



#### 4.2.2 Potencial de produção de biogás

Na tabela 4 é possível visualizar o volume médio ( $m^3$ ) de biogás que pode ser produzido por massa (kg) de substrato, visto que a geração de resíduos pode variar de acordo com a raça do animal, local de criação e dieta a que foi submetido.

Tabela 4: Potencial de produção de biogás a partir de diferentes tipos de substrato.

<b>Substrato</b>	<b><math>m^3</math> de biogás/kg ou L de substrato</b>	<b><math>m^3</math> de biogás/100 kg ou L de substrato</b>
Esterco de Caprino/ovino	0,0400 – 0,0610	4,00 – 6,10
Esterco de Bovino de leite	0,0400 – 0,0490	4,00 – 4,90
Esterco de Bovino de corte	0,0400	4,00
Esterco de Suínos	0,0750 – 0,0890	7,50 – 8,90
Esterco de Frango de corte	0,0900	9,00
Esterco de Poedeiras	0,1000	10,00
Esterco de Codornas	0,0490	4,90
Manipueira	0,0013	0,13
Resíduos do abate de bovinos e suínos	0,07	7,00
Soro de Leite	0,102	10,20

Fonte: SOUZA, LUCAS JÚNIOR, FERREIRA 2005; COMASTRI FILHO, 1981; JASKO *et al*, 2011.

A partir da determinação da quantia de resíduo gerado, foi possível estimar o volume de biogás que poderia ser fornecido com esse montante utilizando a equação 2. O resultado é apresentado na figura 8.

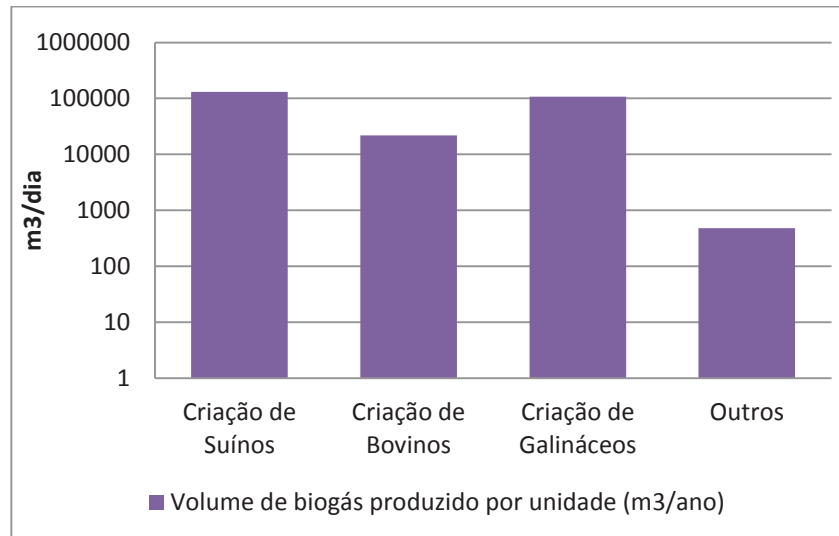


Figura 6: Gráfico do potencial de produção de biogás a partir de resíduos gerados pela Agropecuária de Toledo em 2014.

Os valores encontrados mostram que, apesar de a criação de suínos não ser tão expressiva em Toledo, os seus dejetos estão entre os mais volumosos e com o maior potencial de produção de biogás, com uma média de 131.000 m<sup>3</sup> de biogás por dia. A figura 8 mostra também que a criação de galináceos possui um potencial de geração de biogás elevado com uma média de 107.500 m<sup>3</sup> por dia em virtude da grande capacidade de biogás por kg de esterco. A estimativa de formação desse gás renovável a partir dos resíduos de cada espécie em estudo está detalhado nas tabelas 3 e 4.

#### 4.2.3 Potencial de geração de energia elétrica

A comparação do consumo de energia elétrica tradicional em Toledo com o potencial de produção de energia elétrica a partir do biogás foi realizado com a assistência da tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Consumo e número de consumidores de energia elétrica – 2014.

<b>Categorias</b>	<b>Consumo (MWh)</b>	<b>Número de Consumidores<sup>1</sup></b>
Residencial	91.840	44.757
Setor secundário (indústria)	116.354	1.599
Setor comercial	71.570	5.223
Rural	60.232	3.590
Outras classes <sup>2</sup>	35.943	1.123
Consumo livre (na indústria) (uso do sistema) <sup>3</sup>	182.952	2
<b>TOTAL</b>	<b>558.892</b>	<b>56.294</b>

(1): Refere-se ao número de unidades consumidoras de energia elétrica (relógio)

(2): Incluem-se as categorias: poder público, iluminação pública, serviços e própria.

(3): Refere-se ao consumo de energia elétrica da autoprodução da indústria. Inclui os consumidores atendidos por outro fornecedor de energia e os que possuem parcela de carga atendida pela COPEL Distribuição e a outra parcela por outro fornecedor.

Fonte: COPEL *apud* IPARDES, 2016.

Após a definição do volume teórico de biogás que poderia ser produzido a partir dos dejetos da agropecuária, foi possível definir quanto de energia elétrica poderia ser gerado com esse gás combustível utilizando a equação 3. A tabela 6 traz esses resultados.

Tabela 3: Quantidade de energia elétrica que poderia ser produzida a partir do biogás.

<b>Setor na Economia</b>	<b>MWh/ano</b>
Criação de Suínos	68.636,43
Criação de Bovinos	11.326,31
Criação de Galináceos	56.109,63
Outros	251,04
<b>TOTAL</b>	<b>136.323,41</b>

Comparando os resultados encontrados com a tabela 5 e focando a possível utilização dessa energia nos estabelecimentos rurais, é possível constatar que esta supriria quase 90% da demanda de energia anual dos setores residencial e rural da cidade de Toledo, apenas com o biogás oriundo de dejetos da criação de animais na agropecuária. Se esse total abastecesse o setor rural e comercial, remanesceriam 4.521 MWh/ano para distribuição em outras áreas.

Esses números mostram que, se a agropecuária produzisse biogás com os resíduos gerados, o setor abasteceria suas necessidades e ainda poderiam comercializar a energia sobressalente.

### 4.3 AGROINDÚSTRIA

A tabela 7 revela os tipos de resíduos gerados pela indústria, quantificação e do potencial de biogás que os mesmos apresentam. Foram utilizadas as equações 1, 2 e 3.

Tabela 4: Produção por setor Agroindustrial e seu potencial da produção de biogás a partir de resíduos gerados.

Setor na economia	Unidades* Geradoras	Composição dos Resíduos Gerados	Resíduos produzidos (L ou kg) por unidade	Resíduos produzidos geral (L/ano ou kg/ano)	Biogás produzido por unidade (m <sup>3</sup> /ano)
Leite**	98.803.000,00	Soro de Leite	0,9	3,11x10 <sup>7</sup>	3,17x10 <sup>6</sup>
Abatedouro de suínos	710.512,00	Conteúdos estomacais e intestinais, sangue, perdas de carnes e outros.	0,06	3,84x10 <sup>6</sup>	2,68x10 <sup>5</sup>
Abatedouro de Aves	6.298.766,00	Sangue e restos de carcaças	0,06	1,26x10 <sup>6</sup>	1,75x10 <sup>4</sup>
Abatedouro de Bovinos	48.813,00	Conteúdos estomacais e intestinais, sangue, perda de carnes e outros.	0,06	1,85x10 <sup>6</sup>	1,30x10 <sup>5</sup>
Aipim	8.100,00	Manipueira	300,00	2,43x10 <sup>6</sup>	3.159,00
<b>Total</b>	-	-	-	<b>4,05x10<sup>7</sup></b>	<b>2,11x10<sup>7</sup></b>

Unidades\*: cabeças, litros ou toneladas.

Leite\*\*: devido à falta de informações sobre a porcentagem de leite atribuído à produção de queijo em Toledo, foi feita a estimativa de soro de leite gerado com base na fração de leite que é destinada para a esse fim a nível nacional, que seria de 35% do montante anual.

Fonte: PACHECO e YAMANAKA, 2006; IBGE<sup>c</sup>, 2015; BEHMER *apud* SERPA *et al*, 2009; IPEA, 2012; FIORETTO, 1987; SCARASSATI, 2003.

#### 4.3.1 Geração de resíduos pela agroindústria

A figura 9 demonstra a parcela de resíduos que cada seção gerou em 2014.

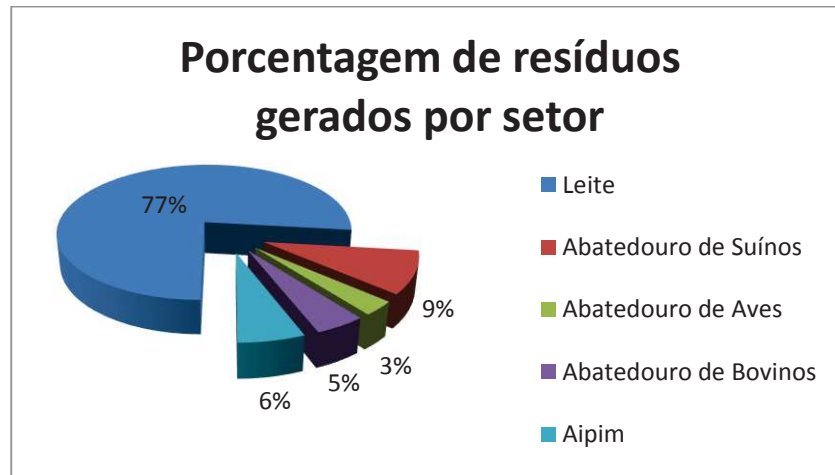


Figura 7: Gráfico da porcentagem de resíduos gerados por setor da economia de Toledo em 2014.

Os resultados demonstram que a maior parte dos resíduos gerados pela agroindústria provém do leite, responsável por 77% do total. Apesar de os abatedouros de bovinos produzirem uma maior quantidade de resíduos por animal, o setor de suínos gera mais rejeito em termos de quantidade, visto que a população de suínos é quase 15 vezes maior que a de bovinos. A manipueira condiz com 6% dos resíduos gerados em Toledo em 2014, seguido dos abatedouros avícolas com apenas 3%.

O grande volume gerado de soro de leite (resíduo de laticínios) merece muita atenção devido ao seu perigo ao meio ambiente. Segundo Buss e Henkes (2015), o soro é cerca de 100 vezes mais poluente que o esgoto doméstico e, se disposto junto aos demais efluentes, pode acarretar problemas graves para a flora e fauna local. Estima-se que uma produção de 300.000 L de soro de leite polua o equivalente a 150.000 habitantes. A média de produção desse resíduo líquido em Toledo no ano de 2014 foi de 85.205 L por dia.

Em se tratando da manipueira, o maior agravante é a presença de cianeto, composto químico com alta toxicidade, trazendo risco à saúde da população (FARIAS; FERREIRA; MATTOS, 2005). A produção de biogás é uma alternativa viável de destino adequado para esses resíduos com um volume alto de geração.

### 4.3.2 Potencial de produção de biogás

A partir da quantificação dos resíduos gerados pela agroindústria, foi possível determinar o volume de biogás teórico a partir dos resíduos por ano em estudo. Os valores encontrados podem ser observados na figura 10.

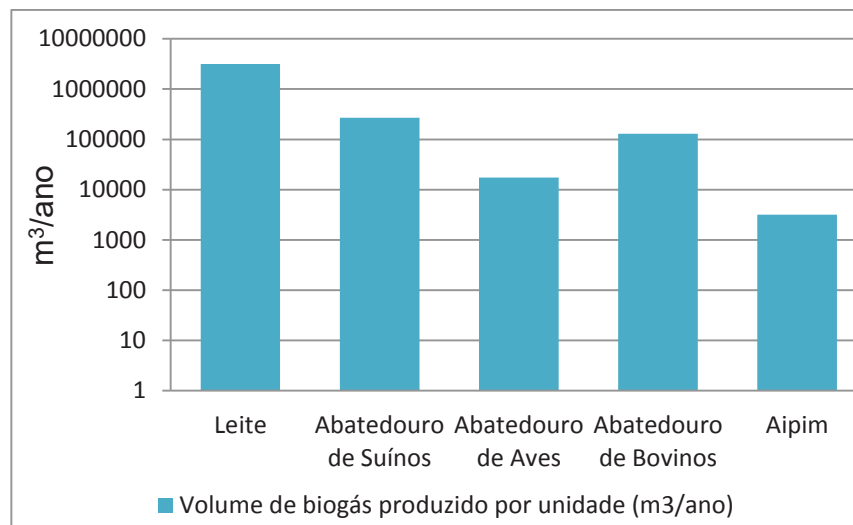


Figura 8: Gráfico do potencial de produção de biogás a partir de resíduos gerados pela Agroindústria de Toledo em 2014.

Através do gráfico, percebe-se que a indústria de laticínios tem um potencial de produção de biogás elevado, com 3,17 milhões de m<sup>3</sup> de biogás por ano. Os abatedouros de suínos e bovinos também possuem uma capacidade de geração de biogás alta, visto que cada kg de resíduos de abatedouro gera 0,07 m<sup>3</sup> de biogás.

O abatedouro de aves é um dos setores da agroindústria que possui a menor capacidade de produção de biogás em Toledo, visto que os resíduos de cada ave abatida têm o potencial de produzir  $2,78 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> de gás renovável.

### 4.3.3 Potencial de geração de energia elétrica

Os valores determinados para a geração teórica de energia elétrica a partir dos resíduos oriundos da indústria toledense podem ser vistos na tabela 8.

Tabela 5: Quantidade de energia elétrica que poderia ser produzida a partir do biogás.

<b>Setor na Economia</b>	<b>MWh/ano</b>
Leite	4.533,10
Abatedouro de Suínos	383,24
Abatedouro de Bovinos	185,90
Abatedouro de Aves	25,02
Aipim	4,52
<b>TOTAL</b>	<b>5.131,78</b>

Em comparação com a tabela de consumo de energia elétrica (5), constata-se que em 2014 o setor secundário (indústria) consumiu 116.354 MWh, ou seja, 21% da energia consumida em Toledo. Se as indústrias utilizassem o biogás para produzir a energia que consomem, as mesmas dariam um destino adequado e útil aos seus resíduos, além de suprir 5.131,78 MWh da energia que necessitam, representando 4,41%.

## 5 CONCLUSÃO

Considerando a característica econômica da região de Toledo e a crise energética que o Brasil está passando devido à normalização das condições climáticas, o biogás tem o potencial de se tornar uma alternativa muito interessante, trazendo benefícios não só à esfera econômica, mas também social e ambiental. Neste trabalho foram identificados os resíduos líquidos e sólidos gerados pela agroindústria da região passíveis de biodigestão, visando à quantificação da energia que pode ser produzida a partir do biogás e a caracterização dos benefícios sociais, ambientais e econômicos (IBGE<sup>b</sup>, 2013).

As vantagens observadas da utilização de biogás como fonte de energia durante a execução deste trabalho são:

- Para o pequeno e médio produtor: Diminuição do mau cheiro oriundo de dejetos de animais em suas propriedades; diminuição dos gastos com a compra de energia que, por sua vez, diminui os custos de produção. Geração de renda para o produtor familiar, visto que o biogás (ou a energia elétrica) produzido poderia ser comercializado; promoção da interação das atividades produtivas na propriedade, incentivando mais ainda o negócio; e alternativa natural de biofertilizante.
- Para as grandes indústrias: participação na comercialização de créditos de carbono; criação de novos produtos provenientes da biodigestão; baixa necessidade de adição de nutrientes; alternativa adequada e produtiva de destino de resíduos e efluentes altamente poluidores; melhoramento da imagem da empresa, visto que o consumidor se preocupa cada vez mais com produtos ecologicamente corretos; menor preocupação com a flutuação do preço da energia; e maior autonomia no sistema.
- Para o ambiente: Baixa emissão de poluentes; reaproveitamento de resíduos a fim de causar menos impacto à natureza; e destino adequado e alternativo para resíduos e efluentes com alto potencial poluidor; e utilização de fontes renováveis.
- Para o município: Menor dependência de questões climáticas; diminuição do mau cheiro perto de aterros sanitários; aumento da concorrência no mercado



de energia, sendo possível a diminuição das taxas em consequência da competitividade; aumento do desenvolvimento tecnológico sobre o biogás e sua produção.

- Para a população: maior diversificação de fonte de energia, diminuindo a escassez e o aumento de tarifas; criação de postos de trabalhos; fomento do conhecimento e conscientização das pessoas em relação ao desenvolvimento e realização de práticas sustentáveis e de produção de energia limpa.

Conclui-se então que o município de Toledo possui um alto potencial de produção de biogás e que o investimento nesse tipo de energia seria promissor e vantajoso para todos os setores da cidade.

Apesar de o biogás ser uma fonte de energia com muitas vantagens, este biocombustível ainda é pouco utilizado. Em uma época de crise energética, aumento na demanda de energia e aumento das preocupações em proteger os recursos naturais através de um desenvolvimento sustentável, o biogás pode desempenhar um papel muito importante.

Os prováveis obstáculos devem ser ultrapassados e as vantagens e benefícios da utilização do biogás devem ser compreendidos. O biogás é uma alternativa de produção de energia excelente que deveria ser tratado com mais relevância, e seu estudo e desenvolvimento deveria possuir mais destaque e atenção.

## 6 SUGESTÕES

- Fomentar esse tipo de energia no município devido à alta capacidade que a região possui;
- Maior conhecimento da população, dos agricultores e das grandes indústrias sobre o assunto aqui tratado;
- Incentivar o desenvolvimento tecnológico da biodigestão anaeróbica, não só no município, e sim no Brasil.

Essas sugestões poderiam ser propagadas mostrando o potencial do biogás para a prefeitura, agências financeiras e entidades que poderiam colocar projetos dessa área em prática, organizando palestras e *workshops* para a aproximação da população e das entidades competentes com o biogás a fim de estudar os dados teóricos dos resíduos e as suas características.

## 7 REFERÊNCIAS

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos.** (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ARCHER, D.B.; KIRSOP, B.H. **The microbiology and control of anaerobic digestion.** Ed. WHETLEY, 1990.

BARBOSA G; LANGER, M. **Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental.** Unoesc & Ciência – ACSA. Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan/jun. 2011.

BLEY JR., C. **Biogás: a energia invisível.** 2 ed. São Paulo: CIBiogás e Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2015.

BRASIL. **Resolução ANP Nº 8**, nº 11097, 13 de janeiro de 2015. Seção III, Art. 3º de 30 de janeiro de 2015.

BUSS, Dilnei Antunes; HENKES, Jairo Afonso. **Estudo dos impactos ambientais causados por laticínios com foco no reaproveitamento dos resíduos gerados.** Gestão & Sustentabilidade Ambiental. Florianópolis, v. 3, n. 2, p. 384-395, mar 2015.

CHERNICHARO, C. A. D. L. **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias: reatores anaeróbios.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, v. 5, 1997.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás independência energética do Pantanal Mato-grossense.** Circular Técnica nº 9. Corumbá: EMBRAPA, 1981.

DEZOTTI, M. **Processos e Técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos.** Rio de Janeiro: E-Papers serviços editoriais LTDA, v.5, 2008.

DIAS, José Manuel Cabral de Sousa; SOUZA, Daniela Tatiane de; BRAGA, Melissa; ONOYAMA, Marcia Mitiko; MIRANDA, Cesar Heraclides Behling; BARBOSA, Patrícia Flávio Dias; ROCHA, José Dilcio. **Produção de briquetes e péletes a partir**

**de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais.** Brasília: EMBRAPA Agroenergia, 2012.

EEA (Empresa de Engenharia Ambiental). **Curso de Tratamento de Esgoto: Introdução ao Tratamento de Esgotos.** 2004. 236 f. Apostila oferecida A Câmara Técnica de Saneamento dos Comitês PCJ. Piracicaba, 2004. Disponível para download em: <[http://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=126:ct-sa-documentos&catid=41:ct-sa-saneamento&Itemid=309](http://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=126:ct-sa-documentos&catid=41:ct-sa-saneamento&Itemid=309)>  
EMBRAPA. **ANP regulamenta o uso de biometano no Brasil. Brasília, 03 de fev. 2015.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2467782/anp-regulamenta-uso-de-biometano-no-brasil>> Acesso em: 20 de abril de 2015.

EPE<sup>a</sup> (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2014: Relatório Síntese de 2013.** Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2014. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf)> Acesso em: 02 de maio de 2015.

EPE<sup>b</sup> (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014.** Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2015. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)> Acesso em: 29 de março de 2016.

ESTADÃO. **Brasil é o 5º maior em energias renováveis.** São Paulo, 30 Nov. 2011. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,brasil-e-o-5-maior-em-energias-renovaveis-imp-,804727>> Acesso em: 15 de março de 2015.

FARIAS, A. R. N.; FERREIRA, J. R.; MATTOS, P. L. P. **Manipueira e plantas armadilhas no controle de formigas cortadeiras na cultura da mandioca.** EMBRAPA, 2005.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica.** 2 ed. Santa Maria: Ed. Da UFSM, 2010.

FIEP. **Observatórios SESI/SENAI/IEL,** Curitiba, 24 Jun. 2014. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/FreeComponent21893content251648shtml>>. Acesso em: 15 de março de 2015.

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Vérdi. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica: estudo de caso.** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Energia (EP/FEA/IEE/IF) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FIORETTO, Roberto Antunes. **Manipueira na fertirrigação: efeito sobre a germinação e produção de algodão (*Gossypiumhirsutum var hirsutum*), L. e milho (*Zeamays, L.*)**. Semina. Londrina, v. 8, n. 1, p. 17-20, 1987.

G1. Paraná RPC: **Conta de luz dos paranaenses aumenta mais de 30%, anuncia Aneel**, Paraná, 27 Fev. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2015/02/conta-de-luz-dos-paranaenses-aumenta-mais-de-30-anunciaaneel.html>>. Acesso em: 02 de maio de 2015.

IBGE<sup>a</sup>. **Produção da Pecuária Municipal 2013**. Rio de Janeiro: IBGE, vol 41, p. 1-108, 2014.

IBGE<sup>b</sup>. **Produção Agrícola Municipal 2013**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

IBGE<sup>c</sup>. **Produção Agrícola Municipal 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IPARDES. **Caderno Estatístico: município de Toledo**. Prefeitura de Toledo, 2016.

IPEA. **Diagnósticos dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas: relatório de pesquisa**. Brasília: IPEA, 2012.

JASKO, Janis; SKRIPSTS, Eriks; DUBROVSKIS, Villis; ZABAROVSKIS, Eduards; KOTELENECS, Vladimirs. **Biogas production from cheese whey in two phase anaerobic digestion**. 10<sup>th</sup> International Scientific Conference: engineering for rural development. Jelgava, mai. 2011. Disponível em: <[http://www.tf.llu.lv/conferencie/proceedings2011/Papers/069\\_Jasko.pdf](http://www.tf.llu.lv/conferencie/proceedings2011/Papers/069_Jasko.pdf)>.

LANDIM, Ana Luiza Pinto Ferreira; AZEVEDO, Lizandra Prado de. **O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável**. BNDES Setorial. Rio de Janeiro, n. 27, p. 59-100, mar. 2008.

MATA-ALVAREZ, J. **Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes**. UK: IWA Publishing, 2003.

NEOENERGIA. **Matriz Elétrica**, Rio de Janeiro, 2013, Disponível em: <<http://www.neoenergia.com/Pages/O%20Setor%20EI%C3%A9trico/MatrizEnergetica.aspx>> Acesso em: 02 de maio de 2015.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. 1 ed. São Paulo: Nobel, 1986.

O Diário de Maringá: **Em período de entressafra, colheita de milho será recorde no Paraná**, Paraná, 31 ago 2015, Disponível em: <<http://maringa.odiario.com/parana/2015/08/em-periodo-de-entressafra-colheita-de-milho-sera-recorde-no-parana/1458034/>>. Acesso em: 19 de maio de 2016.

OECD. **Destaques da Avaliação de Desenvolvimento Ambiental do Brasil**. Paris: OECD, 2015.

PACHECO, J. W.; YAMANKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno) – série P+L**. São Paulo, CETESB, 2006.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por digestores**. 2010. 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

SCANIA. **ANP regulariza uso de biometano**. São Bernardo do Campo, 11 Fev. 2015. Disponível em: <<http://newsroom.scania.com/br/2015/02/11/anp-regulamenta-uso-do-biometano/>> Acesso em: 16 de abril de 2015.

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R.F.; DELGADO, V.L.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N.; TONSO, S.; SOBRINHO, G.D.; PELEGRINI, R. **Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos**. III Fórum de Estudos Contábeis, Claretianas, 2003. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/5530190-Tratamento-de-efluentes-de-matadouros-e-frigorificos.html>>

SERPA, L.; PRIAMO, W. L.; REGINATTO, V. **Destino Ambientalmente Correto a Rejeitos de Queijaria e Análise de Viabilidade Econômica**. 2nd International Workshop – Advances in Cleaner Production, São Paulo, 2009.

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

SILVA, Christian Luiz da; BASSI, Nádia Solange Schmidt. **Análise dos impactos ambientais no Oeste Catarinense e das tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Suínos e Aves**. VI Encontro Nacional da ANPPAS, Belém, set 2012.

Disponível em <<http://www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT7-946-803-20120621110037.pdf>>.

SOUZA, C. F.; LUCAS JÚNIOR, J. ; FERREIRA, W.P.M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida**. Engenharia Agrícola, v.25, n.2. 2005.

WINROCK INTERNATIONAL. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. 2 ed. Salvador: Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), 2008.