



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA - FAV**

**PRODUÇÃO DE BIOENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA VEGETAL E  
RESÍDUO ANIMAL: EXEMPLOS DA ALEMANHA E AS PERSPECTIVAS  
BRASILEIRAS**

**LAURA MONNERAT GOERGEN**

**Brasília – DF**

**Dezembro de 2015**

**LAURA MONNERAT GOERGEN**

**PRODUÇÃO DE BIOENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA VEGETAL E  
RESÍDUO ANIMAL: EXEMPLOS DA ALEMANHA E AS PERSPECTIVAS  
BRASILEIRAS**

Projeto final de Estágio Supervisionado,  
submetido à Faculdade de Agronomia e  
Medicina Veterinária da Universidade de  
Brasília, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Professor Jader Galba Busato

**Brasília – DF**

**Dezembro de 2015**

**LAURA MONNERAT GOERGEN**

**PRODUÇÃO DE BIOENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA VEGETAL E  
RESÍDUO ANIMAL: EXEMPLOS DA ALEMANHA E AS PERSPECTIVAS  
BRASILEIRAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Orientador Prof. Dr. Jader Galba Busato

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

---

Professor Dr. Carlos Roberto Spehar

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

---

Professor Dr. Samuel Martin

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

**Brasília – DF**

**Dezembro de 2015**

**Folha de aprovação**

**PRODUÇÃO DE BIOENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA VEGETAL E  
RESÍDUO ANIMAL: EXEMPLOS DA ALEMANHA E AS PERSPECTIVAS  
BRASILEIRAS**

Projeto final de Estágio Supervisionado,  
submetido à Faculdade de Agronomia e  
Medicina Veterinária da Universidade de  
Brasília, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Orientador Prof. Dr. Jader Galba Busato

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

---

Professor Dr. Carlos Roberto Spehar

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

---

Professor Dr. Samuel Martin

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer à minha família e aos meus amigos pelo carinho, ao Professor Jader pela orientação e paciência e, particularmente ao Professor Rainer Waldhardt, da Universidade Justus-Liebig Giessen, pela oportunidade de conhecer e aprender sobre a bioenergia da Alemanha.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1. Projetos alemães de fomento à geração de bioenergias.....	15
2.2. Utilização de biomassa para a geração de energia.....	20
2.2.1. Porção da biomassa na matriz elétrica do Brasil.....	25
2.2.1.1. Vinhaça e bagaço de cana-de-açúcar.....	26
2.2.1.2. Resíduos de origem animal.....	29
2.2.1.3. Resíduo de CEASAS e feiras livres.....	30
2.2.1.4. Aterros sanitários.....	30
2.3. O uso do biogás como matriz energética.....	32
2.3.1. Processos de obtenção de biogás.....	35
2.3.1.1. A digestão anaeróbica.....	35
2.3.1.2. Os biodigestores.....	37
2.3.1.2.1. Modelo Indiano.....	41
2.3.1.2.2. Modelo Chinês.....	42
2.4. Outras aplicações da biomassa.....	43
2.5. Retorno econômico.....	45
2.6. Impactos ambientais.....	48
2.7. Perspectivas brasileiras.....	50

2.7.1. Resíduos potencialmente energéticos produzidos no Distrito Federal.....	51
2.7.1.1. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - Caesb...	51
2.7.1.2. Serviço de Limpeza Urbana - SLU.....	52
2.7.1.3. Viveiro da Novacap.....	55
2.7.1.4. Suinocultura.....	58
<b>3. CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Distribuição de vilarejos bioenergéticos na Alemanha.....	16
Figura 2-	Regiões bioenergéticas e parceiras na Alemanha.....	18
Figura 3-	Utilização do território da Alemanha e, em detalhe, das áreas agriculturáveis em 2014.....	20
Figura 4-	Compactação da matéria verde para produção silagem na Alemanha.....	22
Figura 5-	Remoção da silagem compactada na Alemanha.....	22
Figura 6-	Área total de produção de milho na Alemanha entre os anos de 2006 e 2015.....	23
Figura 7-	Bagaço de cana-de-açúcar de usina de etanol.....	25
Figura 8-	Canal de vinhaça e tanque impermeabilizado de vinhaça.....	26
Figura 9-	Disposição de poços em um aterro sanitário.....	30
Figura 10-	Número de biodigestores e suas correspondentes capacidades de geração elétrica, e projeções de 2015 e 2016.....	31
Figura 11-	Principais substratos empregados nos biodigestores da Alemanha no ano de 2014.....	33
Figura 12-	Os estágios do processo de fermentação do metano.....	35
Figura 13-	Tipos de digestores de vias seca, seca-úmida (A) e úmida (B).....	37
Figura 14-	Principais diferenças entre as vias de digestão anaeróbicas.....	38
Figura 15-	Representação do biodigestor de dois estágios associado a um tanque vedado de armazenamento de gás e a um cogrador (CHP).....	39
Figura 16-	Funcionamento do biodigestor de modelo Indiano.....	41
Figura 17-	Funcionamento do biodigestor de modelo Chinês.....	41
Figura 18-	Redução das emissões de gases do efeito estufa devido à utilização de energias renováveis em 2013 na Alemanha.....	47
Figura 19-	Área das composteiras, mostrando esteira de deposição de material orgânico.....	52
Figura 20-	Sistema de captação de chorume.....	53
Figura 21-	Tanques de captação e tratamento de chorume.....	53
Figura 22-	Máquina trituradora de folhas e galhos finos de árvores.....	55
Figura 23-	Trincheiras de compostagem.....	55
Figura 24-	Trincheiras repletas de troncos e galhos grossos.....	56



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Participação e capacidade instalada total das principais fontes da matriz de energia elétrica no Brasil.....	24
Tabela 2-	Participação e capacidade instalada total das fontes de biomassa do Brasil.....	25
Tabela 3-	Custo produção de energia elétrica (R\$ MWh) proveniente do biogás da suinocultura. As marcações na tabela representam os valores competitivos de cada cenário.....	47

## LISTA DE SIGLAS

Sigla	Significado em alemão/ inglês	Significado em português
IBGE		Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.	Agência de Recursos Naturais
KMB	Klimashcutz Marburg-Biedenkopf	Programa de Proteção ao Clima Marburg-Biedenkopf
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft	Ministério da Agricultura e Nutrição
EGE	Energiegenossenschaft Erfurtshausen e.G.	Sociedade Energética de Erfurtshausen
EMBRAPA		Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ANEEL		Agência Nacional de Energia Elétrica
APLA		Arranjo Produtivo Local do Álcool
AGEITEC		Agência Embrapa de Informação Tecnológica
IPEA		Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
CEASA		Central de Abastecimento do Distrito Federal
MMA		Ministério do Meio Ambiente
UNESP		Universidade Estadual Paulista
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	Organização dos Alimentos e Agricultura das Nações Unidas
CAESB		Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

SLU  
Novacap  
SEBRAE  
DFSuin

Serviço de Limpeza Urbana  
Companhia Urbanizadora da Nova Capital  
do Brasil  
Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e  
Pequenas Empresas  
Associação de Criadores de Suínos do  
Distrito Federal

Laura Monnerat Goergen, **PRODUÇÃO DE BIOENERGIA A PARTIR DE BIOMASSA VEGETAL E RESÍDUO ANIMAL: EXEMPLOS DA ALEMANHA E AS PERSPECTIVAS BRASILEIRAS**. 2015. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB

## **RESUMO**

A matriz elétrica brasileira é dependente das hidrelétricas, que produzem aproximadamente 60% da eletricidade do país. Outras fontes eficientes e que não demandam investimentos tão altos para construção, distribuição e manutenção tem sido desprezadas. É o caso da bioenergia ou energia gerada a partir da biomassa vegetal e de resíduo animal, que representa somente uma pequena parcela na matriz elétrica do Brasil. Diferente das usinas hidrelétricas, a bioenergia pode ser produzida no próprio local ou região de consumo, a partir de diferentes técnicas de geração (como incineração ou digestão anaeróbica), em quantidades que dependem da demanda local e resultando em formas variadas de energia. Especialmente em países europeus, o parque energético que utiliza resíduos tem crescido significativamente nos últimos anos. Na Alemanha, por exemplo, as renováveis produzem cerca de 13% da energia gerada e aproximadamente 8% dessa porção é proveniente da biomassa. O Brasil e o Distrito Federal possuem um grande e pouco explorado potencial para geração de bioenergias, sendo a geração de biogás a partir da digestão anaeróbica de resíduos e de biomassa uma das alternativas. Ela apresenta inúmeras vantagens ao meio ambiente, aos produtores rurais e às populações urbanas, devido ao reaproveitamento da grande quantidade de resíduos produzidos diariamente, que são de difícil descarte, devido ao grande volume e à capacidade de poluição.

**Palavras-chaves:** Biogás, Biomassa, Fontes Renováveis, Energia Renovável.

## **ABSTRACT**

The electric production in Brazil depends on the hydroelectric power, which produces about 60% of it. Other efficient sources that do not demand high costs for construction, distribution and maintenance have been neglected. An example is the bioenergy, the energy produced from plant biomass and animal residues, which represent only a small portion of the electric production from Brazil. Bioenergy differs from the hydroelectric power, due to the possibility of being produced where it will be consumed and generated by different applicable technologies to process biomass and rejects for biogas and energy. Especially in European countries, where the energy produced from residues have significantly grown in the past years. In Germany, for example, only 13% of the energy is renewable, about 8% of it corresponds to the biomass portion. Brazil and Distrito Federal have a great and under explored potential for bioenergy generation, hence the generation of biogas from the process of anaerobic digestion from residues as an alternative. It can lead to many advantages to the environment, to the farmers and to the urban population, due to the utilization of the residues daily produced which are difficult to discard, due to its great size and pollution capacity.

**Key Words:** Biogas, Biomass, Renewable Sources, Renewable Energy.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é internacionalmente reconhecido por sua matriz energética considerada limpa e renovável baseada principalmente da produção de bicompostíveis e usinas hidrelétricas. Com isso, atingiu-se uma posição política de destaque entre países desenvolvidos, por maior segurança energética quando comparada àqueles que apresentam combustíveis fósseis como fonte energética principal (AVACI et al., 2013). Estes combustíveis apresentam riscos financeiros, devido à volatilidade dos preços do petróleo; ambientais, decorrentes de processos de extração e utilização; e técnico-econômicos, devido ao esgotamento das reservas e conseqüente elevação dos custos de produção (GREENPEACE, 2010).

Sob outra perspectiva, o Brasil apresenta ampla capacidade de obtenção de produtos oriundos de diferentes atividades agrícolas e pecuárias. Em função do grande rebanho bovino, suíno e de aves, a produção brasileira de esterco é relevante (IBGE, 2010). A decomposição sem tratamento destes dejetos pode resultar em diversos problemas ambientais, entre os quais a contaminação do solo e dos cursos d'água. Por isso, vislumbra-se no país, atualmente, a possibilidade de tratamento desses resíduos utilizando-se sistemas de digestão anaeróbia, o que viabiliza, além do tratamento desses materiais, a obtenção de biogás para a geração de energia elétrica. Como efeito, além de ampliar a geração renovável de energia, existe a possibilidade de reduzir a carga poluente destinada aos rios e lençóis freáticos, assim como reduzir a emissão de gases do efeito estufa (AVACI et al., 2013). A energia elétrica produzida tendo como matriz a biomassa pode ser utilizada nas propriedades rurais geradoras ou ser comercializada, tornando-se, também, mais uma possibilidade de geração de emprego e renda para o meio rural. Nos centros urbanos, resíduos da coleta seletiva e de varrição de parques e

jardins, além daqueles oriundos de sistemas de tratamentos de esgoto, podem ser fontes potencialmente geradoras de energia, apesar de ainda pouco exploradas.

Além disso, há também a possibilidade de obter certificados de créditos de carbono por essa redução de emissões e de vendê-los. Embora seja um processo difícil e caro, a venda desses créditos é um instrumento em potencial para o pagamento dos custos de instalação do sistema de biogás e fonte de renda extra para produtores rurais e indústria de alimentos (QUEROL et al., 2015).

Na tentativa de reduzir a grande utilização de fontes energéticas fósseis, países europeus têm expandido a produção de bioenergia, na qual a biomassa e o biogás representam um papel importante. Ambas conseguem gerar eletricidade e calor e podem substituir parcialmente o uso de combustíveis fósseis e de gás natural. Na Alemanha, a contribuição da biomassa é cerca de 66% do suprimento total de energias renováveis. E a parcela do biogás na geração de eletricidade a partir de biomassa foi de 50,2% no ano de 2012. Relativamente às energias renováveis, o biogás foi responsável por gerar 15,1% da eletricidade e 7,8% do suprimento de calor (sendo que a digestão de lixo orgânico, e dos aterros sanitários e o gás gerado do tratamento de esgoto representam 20,1% da eletricidade e 14,6% do calor) (FNR, 2013).

Esta revisão objetivou demonstrar a produção de bioenergia proveniente de biomassa vegetal e resíduo animal utilizando o exemplo da Alemanha, apontando as perspectivas de uso desta tecnologia no Brasil. Por fim, foi sugerido um conjunto de resíduos orgânicos existentes no Distrito Federal que poderiam ser alvo de estudos voltados à sua utilização também como fonte potencial à geração de biogás.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Projetos alemães de fomento à geração de bioenergias**

O distrito de Marburg-Biedenkopf encontra-se no estado de Hessen, Alemanha, distante aproximadamente 100 km da cidade de Frankfurt (Main). Apresenta 9 cidades e 13 comunidades, com população de 240.842 habitantes e uma área total de 1.262,56 km<sup>2</sup>, ou seja, 191 habitantes/km<sup>2</sup> (KMB, 2015).

No ano de 2006, foi criado o Programa de Proteção do Clima de Marburg-Biedenkopf (Klimaschutz Marburg-Biedenkopf – KMB) para promover a expansão de uso das energias renováveis. Depois do primeiro ano, o conselho municipal aprovou seu objetivo de *“produzir no mínimo 10% da necessidade elétrica do distrito até 2010 e tornar-se independente de fontes energéticas fósseis e nucleares até o ano de 2040.”*

No ano de 2011, o Ministério do Meio Ambiente alemão apoiou o seguinte modelo:

*“O distrito de Marburg-Biedenkopf deseja substituir toda a energia elétrica e térmica por fontes renováveis provenientes da região até o ano de 2040. A eficiência energética em todas as atividades será o principal meio para alcançar os objetivos. Conhece-se o amplo e diversificado potencial de proteção climática da região e pretende-se ativá-lo e utilizá-lo de maneira sustentável. Por isso, a energia requerida será considerada como ambientalmente correta no futuro. Consequentemente, representa a conveniência e segurança de abastecimento, que são os requerimentos mais importantes para um suprimento sustentável de energia.*

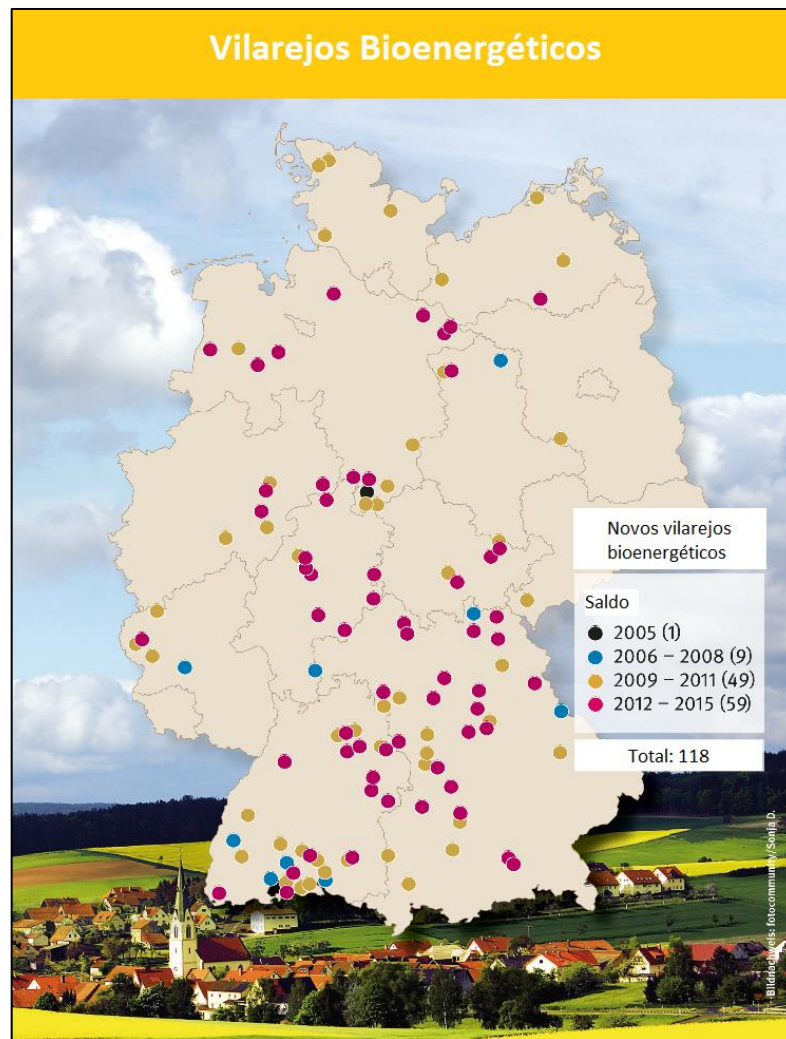
*A popularização das tecnologias de energia renovável e a promoção do mercado de trabalho regional são preocupações com o intuito de contribuir com o futuro da região. A alteração da rede de distribuição para suportar as novas fontes energéticas, como, por exemplo, a substituição das redes de aquecimento a óleo mineral para o*

*aquecimento à gás, permite a participação ativa dos moradores, empresários, artesãos, fazendeiros e autoridades locais no processo de tomada de decisão. Agindo em conjunto, pode-se criar um desenvolvimento sustentável futuro e crescer por meio de investimentos e valorização da região. Com um conceito de proteção do clima integrado, será estabelecida uma base funcional ao contínuo desenvolvimento do distrito de Marburg-Biedenkopf, para que ele seja precursor da geração sustentável de energia na Alemanha” (Adaptado de KMB, 2015).*

O governo federal alemão premiou o distrito como uma das 19 Regiões Plano Master na Alemanha e criou-se uma nova e desafiadora estratégia: o Plano Master 100% de Proteção Climática. O próximo objetivo é reduzir entre 90 e 95% as emissões de CO (monóxido de carbono) e economizar 50% da energia até o ano de 2050. O restante dessa energia deverá ser substituído por energias renováveis. (KMB, 2015).

Outro projeto interessante criado pelo país é o “Vilarejos Bioenergéticos”. Esse projeto é uma tentativa de diversos vilarejos de se tornarem autossuficientes energeticamente. Para isso, empregam-se fontes de energia renováveis, tais como eólica, solar térmica e fotovoltaica e biomassa para suprir a demanda por combustíveis fósseis, eletricidade e calor ou, ao menos, uma considerável porção dela (FNR, 2015). Até o ano de 2015, o país contabilizava 118 vilarejos registrados e em funcionamento, ou seja, gerando sua própria energia elétrica e calor (Figura 1). Em 54 desses vilarejos, toda a população concorda com a participação no projeto (BMEL, 2015).





**Figura 1 - Distribuição de vilarejos bioenergéticos na Alemanha (Adaptado de FNR, 2015).**

Formou-se uma cooperativa com os residentes dos vilarejos acompanhados de reuniões periódicas para discutir o projeto e seus detalhes, esclarecer questionamentos e dúvidas, visando organizar o projeto e estruturá-lo. Para tanto, os coordenadores e especialistas precisam preparar um estudo de viabilidade e riscos, ou seja, se a proposta é benéfica ou não, definindo a demanda energética e a fonte bioenergética mais recomendada (KLEINSEELHEIM, 2014).

Alguns exemplos de Vilarejos Bioenergéticos no distrito de Marburg-Biedenkopf são Schönstadt, Erfurtshausen e Unterrospehe. A cooperativa de Schönstadt foi fundada

em abril de 2011 com 153 membros, alcançando 286 membros após um curto período. Foi construída uma rede de aquecimento de 10,5 km de extensão, a maior deste tipo para uso dos residentes na Alemanha, com investimento total de € 5,8 milhões. A construção durou seis meses e foi concluída em outubro de 2012. O vilarejo ganhou em 2013 o Prêmio “Georg-Salvamosers” em Freiburg, em função da implantação do “maior sistema de aquecimento local da Alemanha” (KMB, 2015).

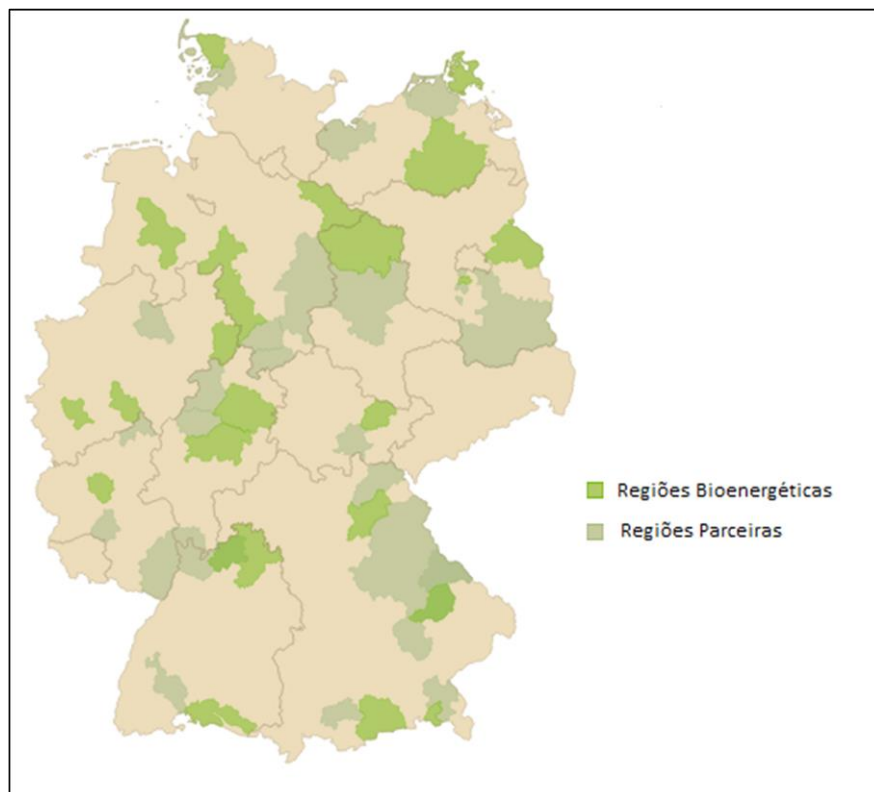
O vilarejo de Erfurtshausen fundou sua cooperativa, a Cooperativa Energética de Erfurtshausen (Energiegenossenschaft Erfurtshausen – EGE), em agosto de 2012, apenas seis meses após a conclusão do estudo de viabilidade. A cerimônia de inauguração ocorreu em janeiro de 2014, mais de um ano depois. Ainda no ano de 2014, a cooperativa já contava com 110 membros (EGE, 2014).

Em maio de 2014 ocorreu o Fórum de Bioenergia em Erfurtshausen, evento onde as realizações da cooperativa e alguns seminários foram apresentados, apontando as vantagens econômicas e ambientais alcançadas na perspectiva de persuadir representantes de outros vilarejos a participarem também do projeto. O conselho administrativo do projeto neste vilarejo é formado por residentes engajados, determinados a substituir o aquecimento à base de óleo, sem manter sequer uma reserva emergencial. Por esta razão, a maioria da comunidade entrou em acordo e o projeto foi aceito pelos membros. Na tentativa de reduzir a demanda pelo óleo de aquecimento, foram testados o biogás e a incineração de serragem como possíveis substitutos.

Outro exemplo é o vilarejo de Kleinseelheim, que em setembro de 2015 inaugurou sua cooperativa. A comunidade ainda não havia concordado a respeito da fonte de calor que seria usada e que a geração de biogás a partir de silagem de milho não era uma opção viável para eles (JORNAL OBERHESSISCHE PRESSE - 18/03/2014).

Ainda assim, havia alternativas, como, por exemplo, a instalação de placas fotovoltaicas para geração de eletricidade e placas térmicas solares para calor, e cogeração de calor e eletricidade (CHP), com fornalhas que queimam diferentes tipos de biomassa. O estudo de viabilidade levou em consideração preços atuais do óleo de aquecimento e da serragem, bem como uma projeção de aumentos anuais de seus preços. Na preparação do projeto técnico, foram considerados os custos principais e secundários de construção da rede de aquecimento e da central de controle (KLEINSEELHEIM, 2014).

“Regiões Bioenergéticas” (Figura 2) é outro projeto do Ministério de Nutrição e Agricultura da Alemanha (BMEL), com o intuito de promover o desenvolvimento de fontes energéticas renováveis no país, semelhante ao projeto Vilarejos Bioenergéticos (BMEL, 2015).



**Figura 2 – Regiões bioenergéticas e parceiras na Alemanha (BMEL, 2015).**

Diversos projetos foram criados para desenvolver praticamente todos os passos para a autossuficiência energética, atendendo as especificidades de cada região nas diferentes fases para alcançar o objetivo final, tendo como exemplos: tipos e produção de matéria-prima, geração de bioenergia, comercialização, marketing, técnicas e tecnologias, organização, turismo, ciência, entre outros (BMEL, 2015). Graças a esses projetos, o distrito de Marburg-Biedenkopf apresenta um grande potencial, pois há a possibilidade de gerar energia de diversas fontes renováveis ali disponíveis. A comunidade tem papel importante nesse processo, pois partiu dela a iniciativa de mudar as fontes energéticas do distrito e torná-lo sustentável e energeticamente autossuficiente.

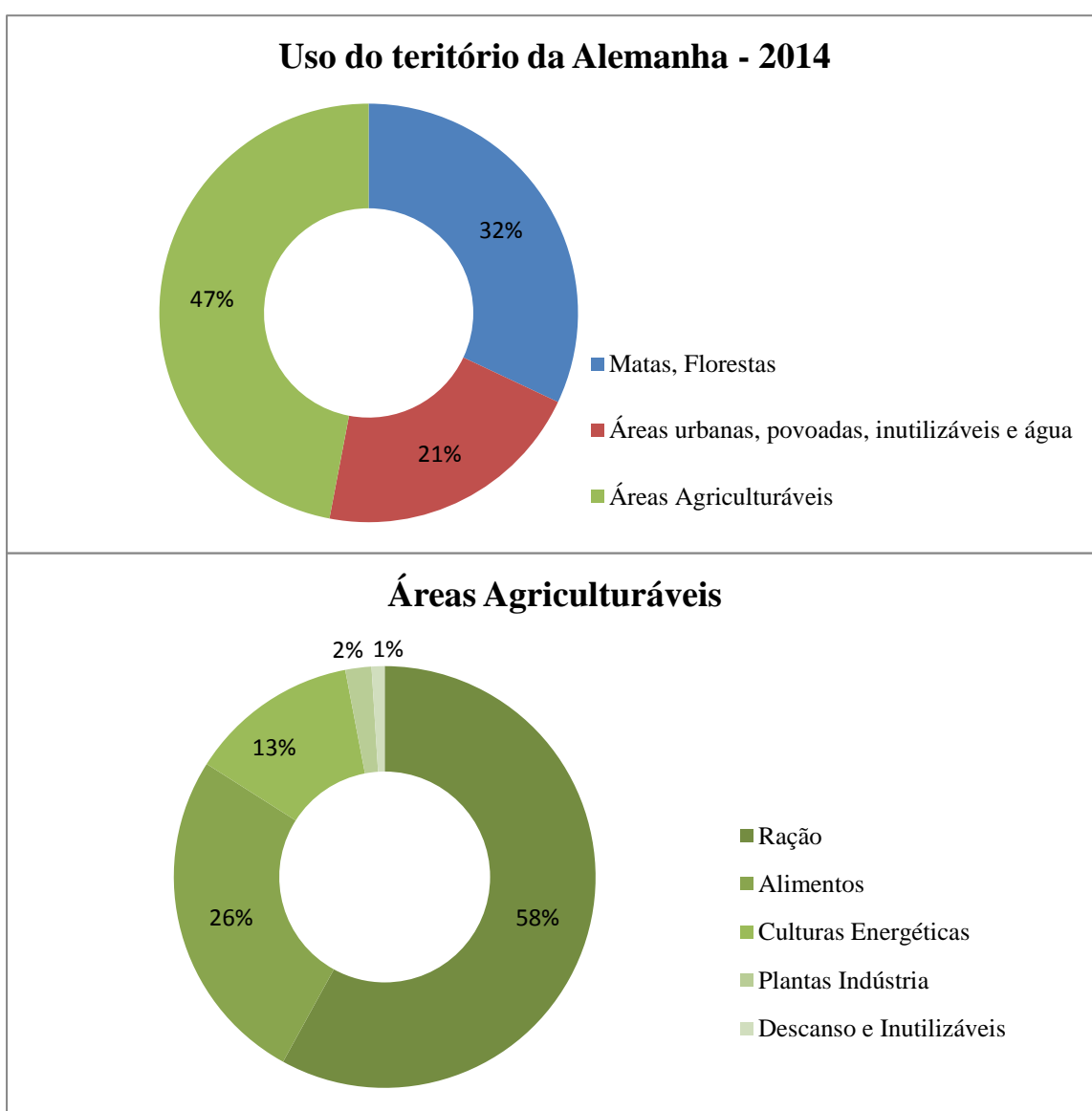
Uma parte considerável da demanda energética pode ser suprida pela energia eólica, já que esse distrito apresenta área e velocidade de vento suficientes. Painéis solares também podem gerar energia em larga escala, caso placas fotovoltaicas e térmicas sejam instaladas em telhados e em áreas não utilizadas. A queima da biomassa também é necessária para a geração de eletricidade e de calor para suprir a demanda da indústria. Este sistema utilizado é chamado Cogeração (Combined Heat and Power – CHP) e pode também distribuir energia para as residências através do sistema de distribuição de aquecimento, pois elas não são necessárias temperaturas tão elevadas como para a indústria (KMB, 2014).

## **2.2. Utilização de biomassa para a geração de energia**

Aproximadamente um terço do território da Alemanha, 11,1 milhões de hectares, é coberto por florestas e 2,3 milhões de hectares produzem plantas que podem servir como matéria-prima para energias renováveis (Figura 3) (FNR, 2015).

Há diversas possibilidades de produção de biomassa a partir dessas plantas, como por exemplo, as tradicionais, como milho, gramíneas, canola, cana-de-açúcar, alguns

grãos; outras que foram recentemente testadas e aprovadas, como o *Miscanthus*, planta da família Poaceae que produz grande quantidade de matéria verde, e outras que ainda participam de programas de pesquisa, como plantas do gênero *Silphium*. Elas podem ser descritas como culturas energéticas anuais e perenes, sendo que cada uma exige diferentes modos de tratamento e produção (FNR, 2015). Ou seja, pode-se utilizar basicamente qualquer cultura que produza alto teor de matéria seca por hectare para o biogás, a não ser que seja lignificada (WEILAND, 2006).



**Figura 3 – Utilização do território da Alemanha e, em detalhe, das áreas agrícolas em 2014 (Adaptado de FNR, 2015).**

Na Europa, o sistema convencional de produção predomina, ou seja, faz-se o preparo do solo com certa frequência. Na Alemanha, algumas culturas como o milho não demandam rotação, mas outras, como a canola, exigem três a quatro anos de pausa. Técnica ainda nova no sistema de produção anual é o cultivo consorciado, ou seja, a produção de diferentes culturas numa mesma área, como por exemplo, milho e girassol, além do sistema de sucessão, que permite duas colheitas no período de um ano (FNR, 2015).

A silagem de milho figura como principal substrato dos biodigestores na Alemanha, representando 32% dos 2,5 milhões de hectares direcionados à produção de culturas energéticas, ou seja, 0,8 milhões de hectares de milho produzidos em 2013. A produção de CH<sub>4</sub> esperada é de 5.000 m<sup>3</sup>/ha, representando 47.000 kWh/ha (FNR, 2015). Usa-se a silagem, pois esta apresenta maior teor de matéria seca e maior proporção de carboidratos fermentáveis para uma ótima produção de metano. Apesar de suas vantagens, há também desvantagens quanto à utilização da silagem de milho como substrato de biogás, como impactos ao solo e ambiente, tendo em vista que a produção de milho caracteriza-se como uma monocultura que demanda diversos insumos e maquinário pesado (OTT et al., 2007).

A silagem é resultante de um processo de fermentação anaeróbica, por acidificação do material verde vegetal. O processo de ensilagem consiste da colheita da planta inteira com teor de matéria seca de cerca de 35%, enchimento do silo com compactação da matéria verde picada (Figura 4), para expulsar o máximo possível de ar, e posterior vedação do silo, evitando perdas por respiração, entrada de animais e insetos e infestação de micro-organismos. Depois da completa fermentação do material ensilado, que ocorre em média com 30 dias, o silo pode ser aberto, como na Figura 5 (EMBRAPA, 2004).



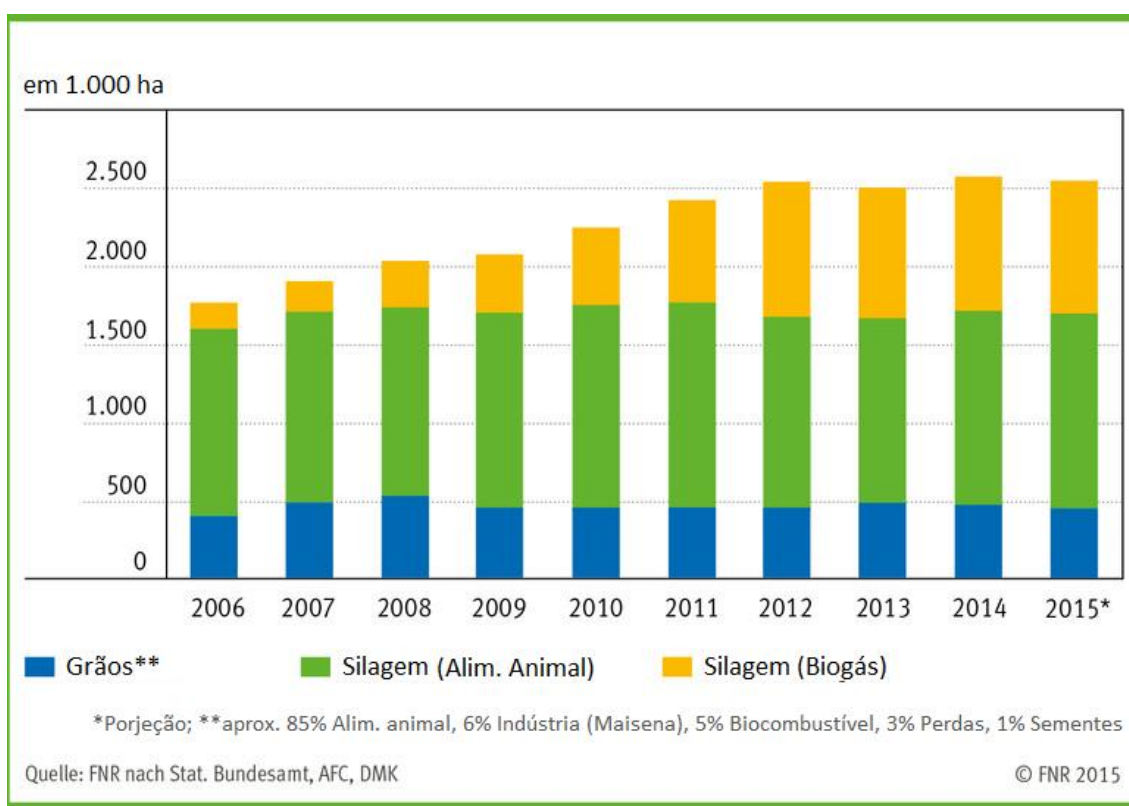


**Figura 4 – Compactação da matéria verde para produção silagem na Alemanha (Fonte: Vollgas).**



**Figura 5 – Remoção da silagem compactada na Alemanha (Fonte: Jornal Osnabrücker, 2013).**

Há na Alemanha a preocupação com o aumento da utilização de milho para a produção de biogás e a conseqüente redução da produção destinada à alimentação. No entanto, houve um aumento da área total de milho com uma pequena redução da área destinada a silagem para alimentação animal e a produção de grãos de manteve constante (Figura 6) (FNR, 2015). Ou seja, essa interferência não é tão significativa, pois somente a produção animal tem sofrido com a produção de biogás utilizando a silagem de milho.



**Figura 6 – Área de produção de milho total na Alemanha entre os anos de 2006 e 2015 (Adaptado de FNR, 2015).**

O milho e o sorgo são as culturas com maior tradição na produção de silagem. No entanto, devido ao seu elevado teor de matéria seca por unidade de área, o capim elefante (*Pennisetum purpureum*) passou a ser muito utilizado no Brasil.



Posteriormente, outras gramíneas tropicais, como as dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* e a cana-de-açúcar também foram empregadas para tal fim (EMBRAPA, 2004).

Culturas perenes podem se manter produtivas por anos em campo sem a necessidade de semear novamente por um longo período de tempo. Elas também diferem quanto à sua capacidade de rebrota, o que interfere na frequência de colheitas. Exemplos são o *Miscanthus* e algumas gramíneas perenes, que podem ser colhidas anualmente, enquanto que algumas espécies arbóreas ou arbustivas, como as espécies dos gêneros *Papulus* e *Salix*, somente colhidas entre 3 a 5 anos (FNR, 2015). Gramíneas perenes e *Miscanthus* demandam pequenas quantidades de fertilizantes e inseticidas e longos períodos de rotação. São culturas que contribuem para conservação do solo e da água e ainda acumulam matéria orgânica (HARVOLK et al., 2013).

### 2.2.1. Porção da biomassa na matriz elétrica do Brasil

A biomassa é a segunda principal fonte renovável de energia elétrica brasileira (Tabela 1). Ela é proveniente de resíduos da produção vegetal ou animal e responsável pela geração de 13.201.403 MW. A Tabela 2 demonstra as fontes de biomassa do Brasil e suas respectivas participações na matriz.

**Tabela 1 – Participação e capacidade instalada total das principais fontes da matriz de energia elétrica no Brasil (Fonte: ANEEL).**

	Hídrica	Biomassa	Eólica	Fóssil	Nuclear	Solar	Importação	Total
<b>Participação (%)</b>	61,61	8,94	4,53	18,02	1,35	0,02	5,53	100
<b>Capacidade Instalada Total (KW)</b>	90.980.841	13.201.403	6.691.697	26.615.743	1.990.000	21.231	8.170.000	147.670.915

**Tabela 2 – Participação e capacidade instalada total das fontes de biomassa do Brasil (Fonte: ANEEL).**

<b>Biomassa</b>	<b>Agroindústria</b>	<b>Biocombustíveis Líquidos</b>	<b>Floresta</b>	<b>Resíduos Animais</b>	<b>Resíduos Sólidos Urbanos</b>	<b>Total</b>
<b>Participação (%)</b>	7,18	0,003	1,71	0,001	0,051	8,945
<b>Capacidade Instalada Total (KW)</b>	10.598.775	4.350	2.521.323	1.804	75.151	13.201.403

### 2.2.1.1. Vinhaça e bagaço de cana-de-açúcar

O biocombustível de maior importância e produção no Brasil é o etanol, produzido a partir da cana-de-açúcar. Ele é altamente sustentável, pois apresenta um balanço positivo de CO<sub>2</sub> e um grande potencial de geração excedente de energia a partir dos subprodutos do esmagamento da cana-de-açúcar - o bagaço (Figura 7) e a vinhaça (Figura 8) (ANEEL, 2008; PINTO, 1999).



**Figura 7 – Bagaço de cana-de-açúcar de usina de etanol (Fonte: APLA).**



**Figura 8 – Canal de vinhaça e tanque impermeabilizado para deposição de vinhaça (Fonte: Agência Embrapa - AGEITEC).**

A cana-de-açúcar detém um potencial total de geração de 16.464 MW/ano, considerando apenas os resíduos de bagaço e torta de filtro (IPEA, 2012). Sua importância vai além da diversificação da matriz elétrica nacional. Pelo fato de a maior concentração da produção de cana-de-açúcar se encontrar nas regiões Sudeste/Centro-Oeste, onde se encontra a maior potência instalada em hidroelétricas do país, e também da safra coincidir com o período de estiagem, ela tem grande importância para compensar a redução da eletricidade neste período e para preservar os reservatórios das hidroelétricas (ANEEL, 2008).

A técnica mais empregada para bagaço é a cogeração – a produção combinada de potência eletromecânica e calor útil a partir da queima de um único combustível-, sendo responsável pela autossuficiência energética das unidades industriais de álcool e de açúcar. O bagaço é queimado em caldeiras que fornecem vapor para diferentes fases do processo, além de gerar energia elétrica para a unidade e para ser vendida para a rede (PINTO, 1999).

Há também a produção do Etanol de Segunda Geração, o etanol produzido a partir da lignocelulose, encontrada no bagaço, em parte da palha e pontas da cana-de-açúcar, que geralmente são descartados. Estima-se que o aproveitamento desse material aumente em 30 a 40% a produção de álcool para a mesma área plantada. Ainda não é possível produzir esse biocombustível comercialmente, porém diversos países têm investido no desenvolvimento e estabelecimento de novas tecnologias que permitam processar diferentes resíduos vegetais para produção do etanol de segunda geração (EMBRAPA, 2011).

A vinhaça, subproduto que sai da primeira coluna de destilação do caldo para da produção de etanol, é mais reaproveitada para fins de fertirrigação. É um resíduo líquido produzido em grandes quantidades (10 a 15 L vinhaça /L etanol), que possui nutrientes vegetais em sua composição e que pode melhorar a fertilidade do solo (PINTO, 1999). Também possui elevada capacidade de geração de energia elétrica. Somente no ano de 2009, os 604.255.461 m<sup>3</sup> de vinhaça gerados, corresponderiam a uma potência total de 333.610 MW (IPEA, 2012).

A melhor alternativa para seu tratamento é a digestão anaeróbia, pois um litro de vinhaça pode gerar 13 litros em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) de biogás, com cerca de 60-65% de CH<sub>4</sub> e 35-40% de CO<sub>2</sub> num biodigestor apropriado. Além disso, o efluente apresenta as mesmas propriedades fertilizantes da própria vinhaça, mas o risco ecológico é praticamente eliminado, já que a demanda química por oxigênio (DQO) é reduzida em até 90%, e o seu pH aumentado, sendo que anteriormente era de 4,5 (PINTO, 1999).

### **2.2.1.2. Resíduos de origem animal**

Há diversos resíduos de origem animal que apresentam alto potencial para produção de energia, entre eles os excrementos produzidos na criação dos animais e os resíduos de abatedouros, que apresentam em sua composição gordura, sangue, conteúdo visceral e pedaços de carcaça (OLIVEIRA et al., 2011).

O efluente de abatedouros avícolas apresenta bons resultados quando disposto à biodigestão anaeróbica. Quando adicionadas enzimas lipofílicas, que aceleram a degradação das moléculas de cadeia longa, tais como óleos e gorduras, a eficiência do processo é elevada, auxiliando na conversão destes em produtos menos complexos, como o biogás ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , principalmente) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). A concentração de enzima adicionada ao substrato pode interferir na produção diária de biogás e nos teores de metano (OLIVEIRA et al., 2011).

Um método interessante para a decomposição de resíduos de carcaça animal e cama de frango é a utilização pré-compostagem e biodigestão anaeróbica. Na primeira degrada-se a carcaça, restando as frações mais difíceis, como ossos, penas e bicos, facilitando a digestão do material devido a sua maior uniformidade e favorecendo a utilização de um sistema de biodigestão mais simples na segunda etapa. No entanto, a pré-compostagem reduz significativamente a quantidade de matéria orgânica do substrato e, conseqüentemente, de carbono e nitrogênio. Com isso, ocorre a redução do potencial de produção de biogás (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

A digestão anaeróbica dos dejetos de ruminantes diminui consideravelmente a presença de larvas e ovos de parasitas no efluente quando comparado com o afluente do biodigestor (mas isso pode depender do gênero do parasita), além de também reduzir os teores de coliformes fecais e totais no efluente, mas estes ainda dependem do tempo de

retenção hídrica, ou seja, o tempo de retenção necessário para a degradação da matéria orgânica (varia de 20 a 50 dias) (AMARAL et al., 2004; QUADROS et al., 2010).

#### **2.2.1.3. Resíduos de CEASAS e feiras livres**

As perdas significativas de frutas e verduras nas centrais de abastecimento, feiras livres e residências, justificam o emprego desse material como substrato para geração de biogás ou energia. Esses resíduos sólidos vegetais apresentam caráter levemente ácido, elevado percentual de umidade (que favorece a aceleração da bioestabilização do substrato e reduz o tempo necessário de digestão do material orgânico) e sólidos totais voláteis (LEITE et al., 2003).

O tratamento anaeróbico desse material com aproveitamento de biogás é uma alternativa viável, com relação satisfatória de custo/benefício, que contribui para minimizar os impactos ambientais causados pelos lixões. O processamento de parte considerável dos resíduos sólidos urbanos reduz a poluição da água, do solo e do ar. É um processo de fácil instalação e monitoramento, demandando do município somente a implantação de um sistema de coleta seletiva desse resíduo (LEITE et al., 2003).

#### **2.2.1.4. Aterros sanitários**

Existem três rotas tecnológicas para a utilização do lixo como fonte de energia: a combustão direta dos resíduos sólidos, mais simples e disseminada; a gaseificação termoquímica (produção de gás por meio de reações químicas); a produção de biogás, decomposição da matéria orgânica pela ação de micro-organismos em ambiente anaeróbico (ANEEL, 2008).

Os aterros sanitários são considerados a maneira mais correta de dispor os resíduos sólidos urbanos (MMA, 2015). A decomposição anaeróbica dos resíduos

orgânicos nesses aterros produz um gás, considerado como uma das maiores fontes de emissão de metanos, com cerca de 50% de CH<sub>4</sub>, 40% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 9% de nitrogênio, e concentrações residuais de compostos orgânicos voláteis, poluentes perigosos e outros elementos (SILVA & CAMPOS, 2008).

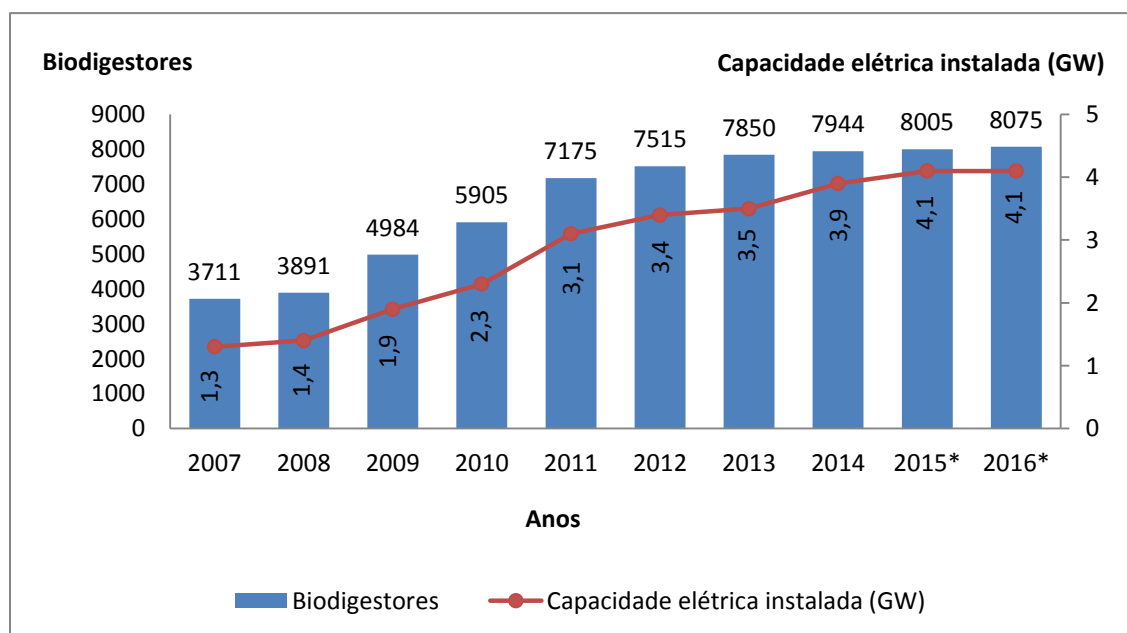
As duas primeiras usinas termoelétricas do Brasil foram instaladas em aterros sanitários. A primeira, inaugurada em 2003, se encontra na cidade de São Paulo, no aterro sanitário de Bandeirantes com capacidade instalada de 20 MW. A segunda, também em aterro da cidade de São Paulo, a usina São João com capacidade de 24,6 MW (ANEEL, 2008). Os fatores mais determinantes para a produção de biogás em poços de aterro sanitário (Figura 9) são as boas condições de degradação anaeróbica e as condições do sistema de drenagem do aterro, além de fatores ambientais externos, como as variações bruscas de temperatura. Os teores de metano nos poços de aterros sanitários são de cerca de 50%, sendo que há variação nesse teor dependendo da profundidade dos poços (SILVA & CAMPOS, 2008).



**Figura 9 – Disposição de poços em um aterro sanitário (SILVA & CAMPOS, 2008).**

### 2.3. O uso do biogás como matriz energética

A extração de energia a partir do biogás é conhecida há muito tempo. Com a criação da Lei das Energias Renováveis (Erneuerbare Energie Gesetz – EEG) na Alemanha, no ano 2000, houve uma forte expansão do uso dessas fontes, principalmente após as novas versões dessa Lei nos anos 2004 e 2009 e com a nova emenda nos anos de 2012 e 2014. Ao final do ano de 2014, 7.944 biodigestores estavam em funcionamento, produzindo 3.900 MW de energia elétrica no país. Como projeção, espera-se alcançar no ano de 2016 um total de 8.075 biodigestores que, somados teriam capacidade elétrica de 4.100 MW (Figura 10). Na Europa, a Alemanha lidera esta área com o maior número de biodigestores instalados (WEILAND, 2006).



**Figura 10 – Número de biodigestores e suas correspondentes capacidades de geração elétrica na Alemanha, e projeções de 2015 e 2016 (FNR, 2015).**

A legislação brasileira para a geração de energia elétrica por propriedades privadas a partir de fontes renováveis corresponde à Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012. Ela estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e



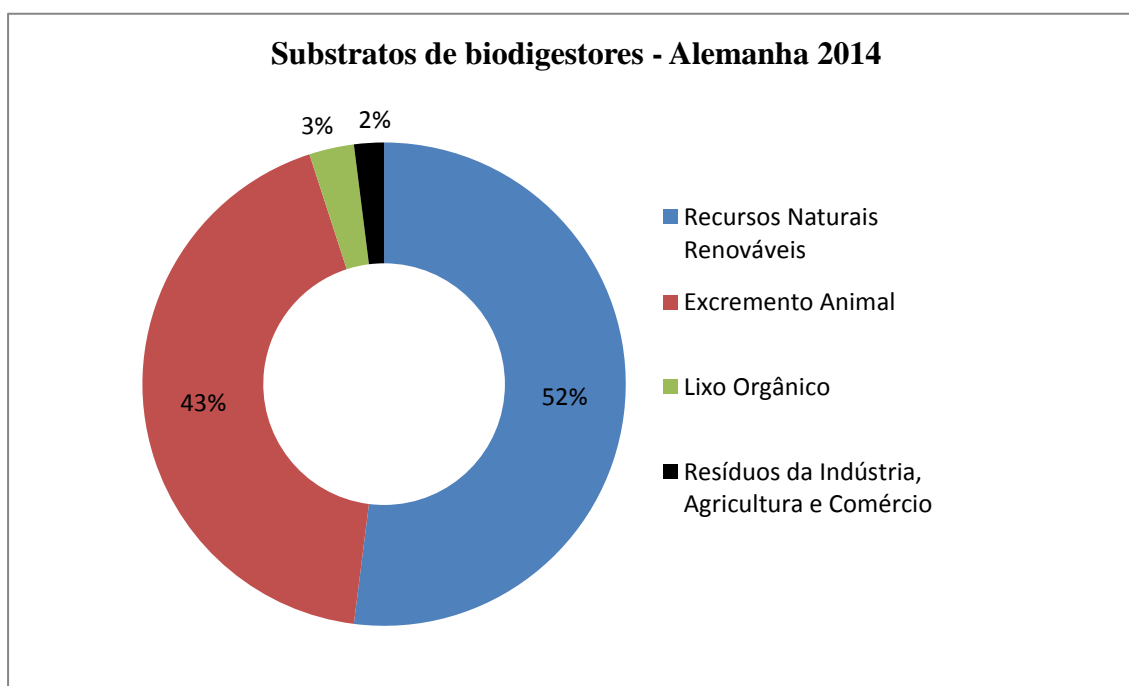
minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Elas consistem em centrais geradoras de energia elétrica, com potências instaladas menores ou iguais a 100 kW para a microgeração distribuída, e superior a 100 kW e inferior a 1 MW para a minigeração distribuída. Elas devem utilizar fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

A energia elétrica gerada é injetada na rede e cedida à distribuidora local por meio de empréstimo gratuito, passando a unidade consumidora, ou seja, a propriedade onde a energia foi gerada, a ter um crédito em quantidade de energia ativa, diferença entre a energia consumida e a injetada. Os créditos devem ser consumidos por um prazo de 36 meses nesta unidade ou em outras de mesma titularidade de onde os créditos foram gerados (ANEEL, 2012).

O emprego do biogás na matriz energética mundial vem ganhando força não somente por ser ecologicamente eficiente e sustentável, mas também por desenvolver socialmente e economicamente a região. Uma das principais vantagens ecológicas de sua produção é a redução das emissões de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e outros gases do efeito estufa para a atmosfera. Isso só é possível devido ao processo de fermentação, responsável por degradar e neutralizar o forte odor de esterco, possibilitando sua utilização como fertilizante orgânico e favorecendo as condições de trabalho (QUEROL et al., 2015). A redução da importação de energia representa uma importante vantagem econômica, aproximando a região de uma independência energética, o crescimento dos lucros dos fazendeiros e o fortalecimento das áreas rurais. A geração de novos postos de trabalho apresenta-se também como um aspecto positivo sob a perspectiva social (FNR, 2015).

As culturas normalmente produzidas para este fim na Alemanha são o milho, a beterraba açucareira, gramíneas e outros grãos. As silagens de milho e gramíneas são os co-substratos mais utilizados em biodigestores rurais no período de análise, de 2002 a 2004 (WEILAND, 2006).

Para uso em biodigestores, o substrato deve conter carboidratos, proteínas, celulose, hemicelulose e gorduras (BRAUN, 2007). No ano de 2014, o total de biogás gerado na Alemanha resultou principalmente de matérias primas renováveis e de excremento animal (Figura 11). Análises mais recentes demonstram que a silagem de milho apresentou melhor eficiência a campo, aplicabilidade de tecnologias e uso extensivo. Também apresentou maior teor de matéria seca e maior rendimento energético, além de menores custos com fertilizantes químicos e agrotóxicos, quando comparado com a produção de grãos (FNR, 2015).



**Figura 11 - Principais substratos empregados nos biodigestores da Alemanha no ano de 2014 (Adaptado de FNR, 2015).**

A queima do  $\text{CH}_4$  coletado no biodigestor o transforma em  $\text{CO}_2$ , um gás 21 vezes menos ofensivo ao efeito estufa do que o metano. A legislação ambiental brasileira e o manejo dos resíduos suínos representam as maiores barreiras para sua produção, mas a geração de biogás solucionou parcialmente este problema, viabilizando a produção de alimentos de origem animal (QUEROL et al., 2015).

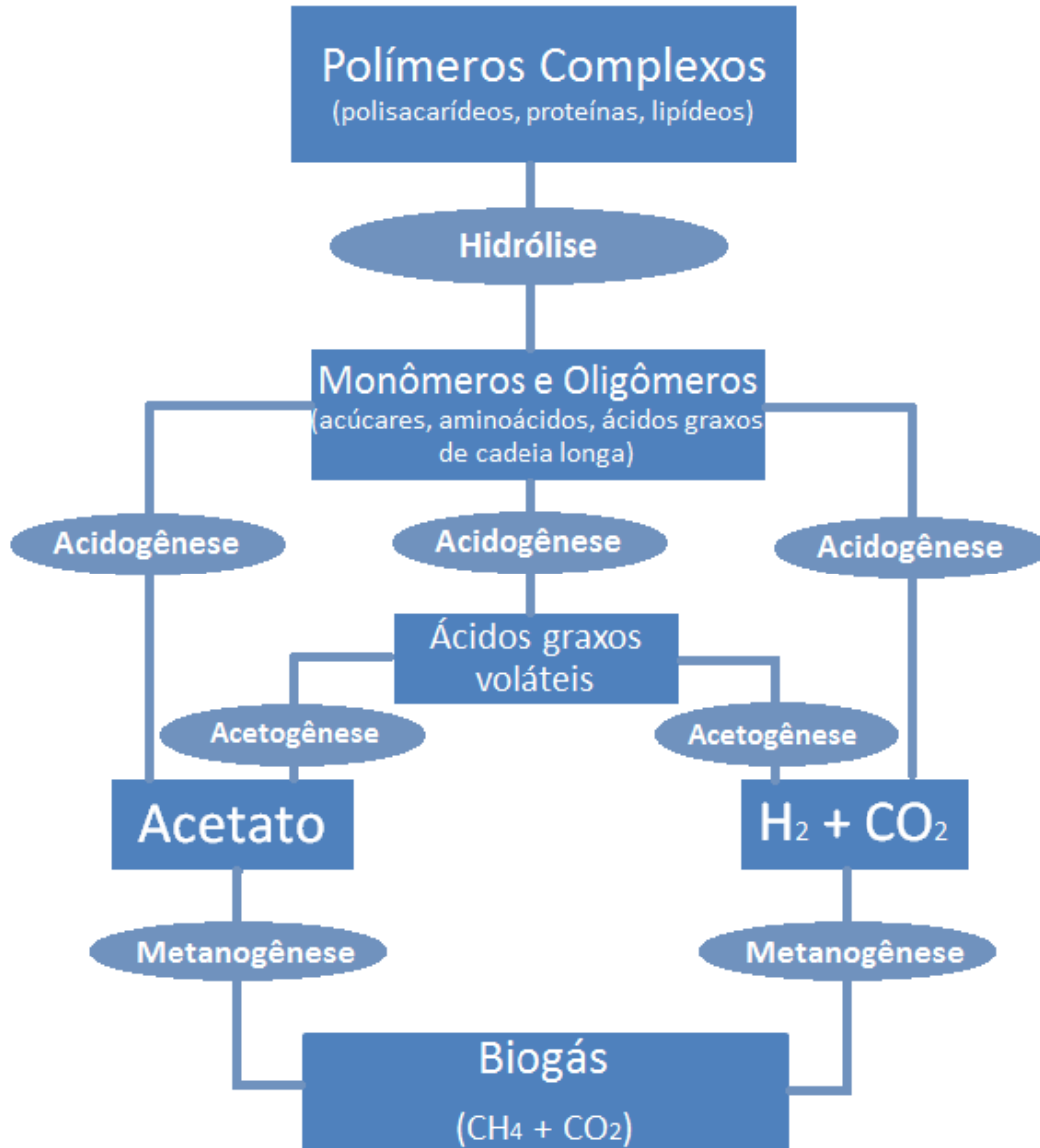
### **2.3.1. Processo de obtenção de biogás**

#### **2.3.1.1. A digestão anaeróbica**

A geração de biogás consiste na digestão anaeróbica do afluente, tal como alguma cultura e resíduos agrícolas ou não-agrícolas, que são chamados de biomassa e resíduos (WEILAND, 2006). É um processo biológico que ocorre na ausência de oxigênio livre, no qual diversas populações de bactérias convertem a matéria orgânica numa mistura de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), que formam o biogás. Suas altas concentrações de  $\text{CH}_4$ , 55 a 70%, permitem seu emprego como combustível. O efluente líquido resultante desse processo consiste da matéria orgânica que não foi convertida em forma líquida e estável (PINTO, 1999). O produto final do biogás é composto basicamente de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$  (AVACI et al., 2013).

Este processo apresenta quatro etapas: de hidrólise, acidogênica, acetogênica e metanogênica, como demonstra a Figura 12, os quais foram detalhadamente descritos por Pinto (1999). A primeira consiste em quebrar as ligações entre as unidades básicas das moléculas complexas que compõem a matéria orgânica, como celulose, proteínas, amido e gordura. As enzimas excretadas pelas bactérias transformam essas moléculas em açúcares, aminoácidos e ácidos graxos de cadeia longa, que podem ser incorporados no interior da célula. Posteriormente, para que possam se alimentar delas, as bactérias as separam em unidades menores e isso geralmente produz ácido acético, entre outros com

seus respectivos sais, como o acetato. Esta etapa é lenta, mas pode ser acelerada pela elevação da temperatura, utilização de pH levemente ácido e de material finamente dividido.



**Figura 12 – Os estágios do processo de fermentação do metano (Adaptado de WEILAND, 2010; FNR, 2013).**

Na segunda etapa, a acidogênica, os compostos gerados na etapa anterior são convertidos por bactérias formadoras de ácidos, em ácidos voláteis, álcoois, dióxido de

carbono, hidrogênio molecular e amônia. Esta etapa é rápida e ocorre uma grande assimilação de matéria em biomassa microbiana.

Na fase acetogênica ocorre a fermentação de álcoois e ácidos orgânicos mais pesados em acetato, dióxido de carbono e hidrogênio molecular, que são efetivamente utilizados pelas bactérias metanogênicas. Há uma atividade de simbiose entre as bactérias acetogênicas e metanogênicas, uma vez que as primeiras produzem hidrogênio e as segundas o retiram, pois a alta concentração de hidrogênio causa inibição do metabolismo das bactérias acetogênicas.

A última etapa é a metanogênese, na qual compostos simples gerados na etapa anterior, como o dióxido de carbono, hidrogênio molecular, ácido acético e metanol, são metabolizados pelas bactérias metanogênicas, havendo desassimilação de metano e dióxido de carbono.

### **2.3.1.2. Os biodigestores**

Os processos mais empregados na geração de biogás são as digestões por via seca, via seca-úmida (Figuras 13A) e por via úmida (Figura 13B). A digestão por via úmida consiste em concentração total de sólidos no fermentador abaixo de 10%. O conteúdo deve ser agitado e bombeado e, caso sejam adicionadas silagem ou outras culturas no substrato, deve-se misturá-lo com esterco e água para atingir a consistência e a concentração total de sólidos corretas. Este material, depois de digerido, pode ser utilizado como fertilizante orgânico, enquanto a concentração total de sólidos recomendada para a digestão por via seca é de 20 a 35% (WEILAND, 2010).

Há no mercado plantas de biogás com variadas configurações de reatores. Observou-se estatisticamente que ocorre interação entre o modelo do biodigestor e o tempo de retenção no que se refere às porcentagens do potencial de produção de biogás

(m<sup>3</sup>/dia), dos teores de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> e da redução de sólidos totais e voláteis (AMARAL et al., 2004). Para digestão por via úmida, o modelo mais comum é o reator vertical completamente agitado (GEMMEKE et al., 2009).

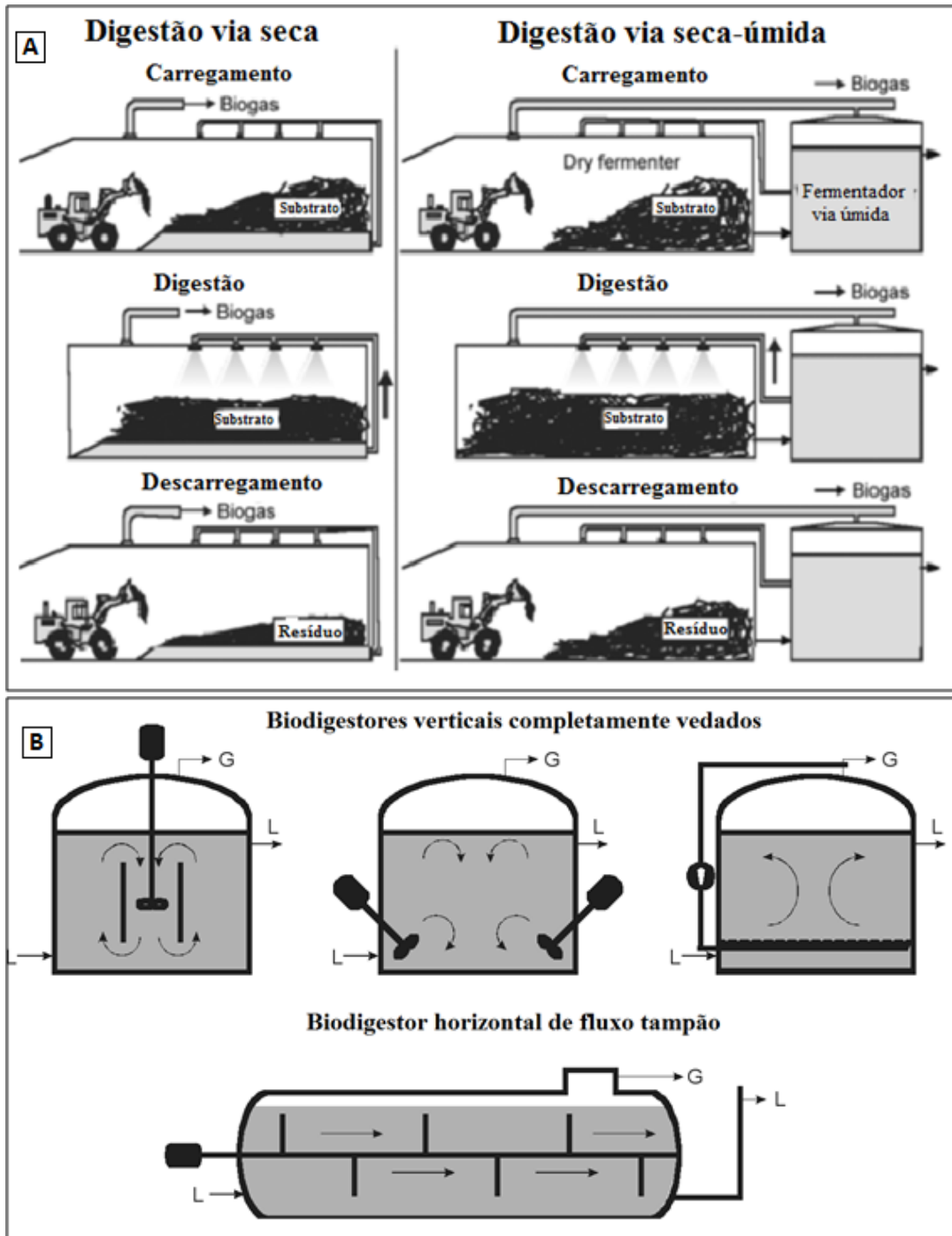
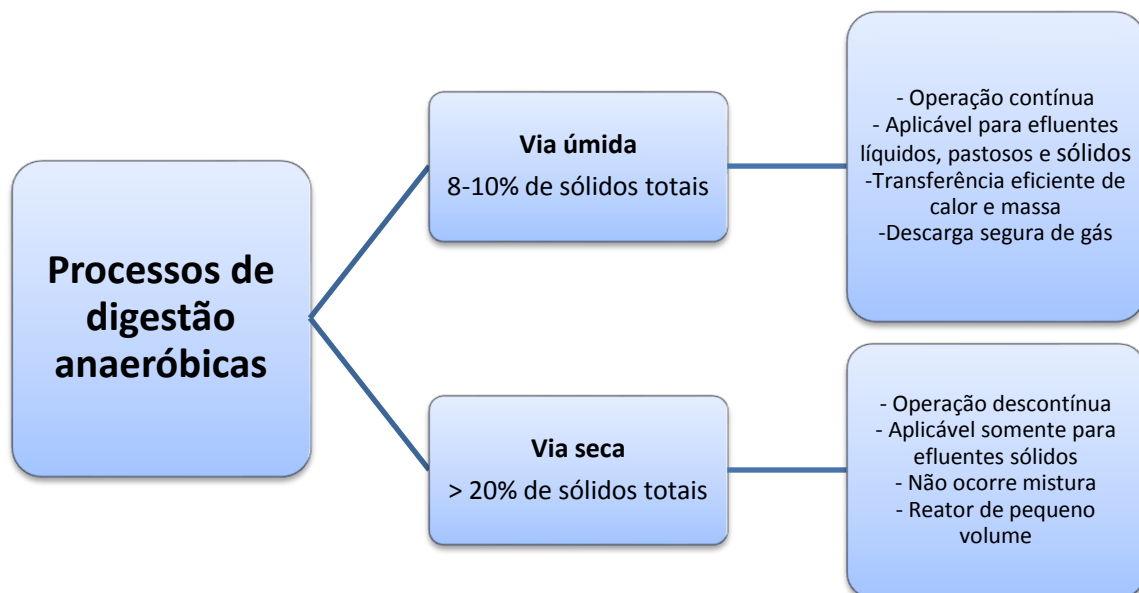


Figura 13 – Tipos de digestores de vias seca, seca-úmida (A) e úmida (B) (Adaptados de WEILAND, 2006).

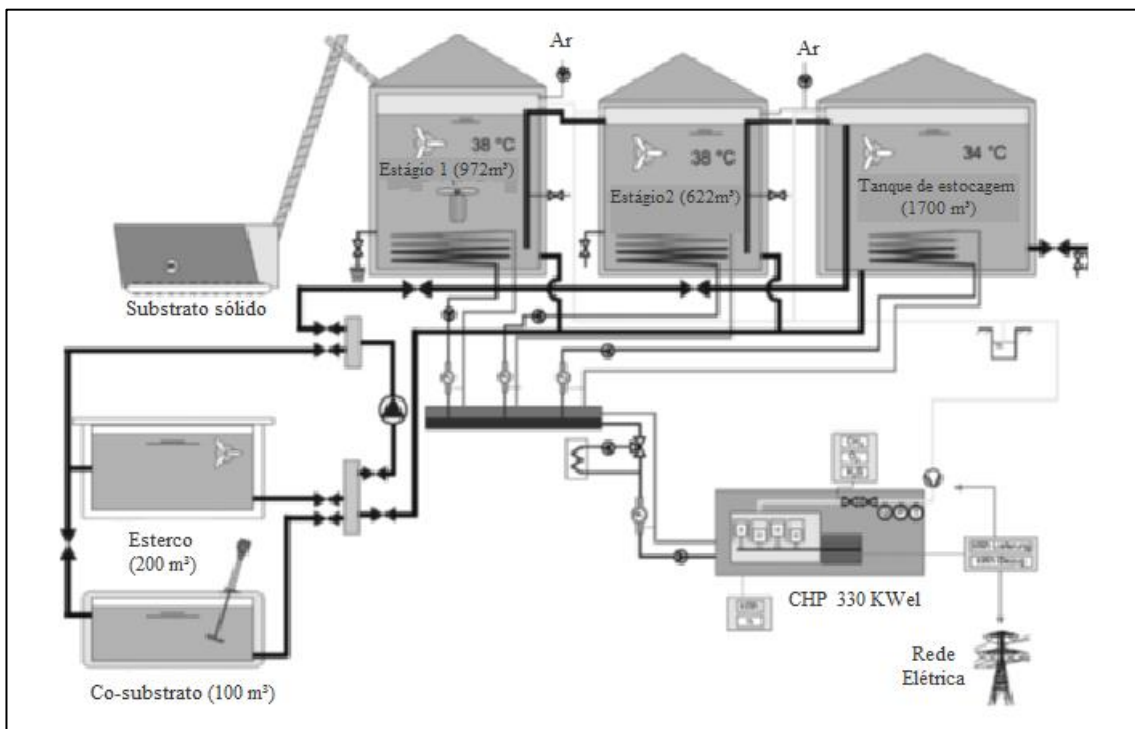
A mistura dos componentes do substrato é necessária para favorecer seu contato com os micro-organismos e para alcançar uma temperatura constante no sistema. É possível, portanto, escolher entre diferentes tipos de agitadores, como mecânicos, pneumáticos e hidráulicos. Também pode ser empregado o reator horizontal, que é equipado com agitador de pás. Esta não é uma configuração tão comum como a vertical, mas pode ser aplicada como a primeira fase de um sistema de digestão bifásico (WEILAND, 2010). A Figura 14 demonstra as principais diferenças entre os processos de via úmida e seca.



**Figura 14 – Principais diferenças entre as vias de digestão anaeróbicas (Adaptado de WEILAND, 2006).**

Em geral, recomenda-se o digestor de dois estágios para a digestão de culturas. Ele consiste de um fermentador principal *high-loaded* e de um secundário *low-loaded* em série, que tratam o substrato a partir do primeiro estágio. Numa avaliação com 61 digestores de propriedades rurais, comprovou-se que a digestão em dois estágios resultou numa maior produção de gás e um potencial resíduo de CH<sub>4</sub> reduzido na

solução digerida (GEMMEKE et al., 2009). A Figura 15 representa um biodigestor vertical de dois estágios associado a um tanque vedado de armazenamento, que reduz as perdas de CH<sub>4</sub> de 5 a 15% na maioria das plantas de biogás avaliadas, e a uma planta de cogeração conectada à rede elétrica. Essas eram plantas modernas na Alemanha no ano de 2004, mas representavam somente 30% do total de plantas (WEILAND, 2006).



**Figura 15 - Representação do biodigestor de dois estágios associado a um tanque vedado de armazenamento de gás e a um cogrador (CHP) (Adaptado de WEILAND, 2006).**

Ainda há algumas preocupações referentes a fatores que podem interferir na produção e concentração de CH<sub>4</sub>, principalmente quanto à produção de biogás a partir de resíduo animal. Sabe-se da utilização de antibióticos em procedimentos curativos do manejo sanitário na criação animal, mas sua interferência na fermentação anaeróbica ainda é estudada. No entanto, nem todo antibiótico apresenta o mesmo poder inibitório;



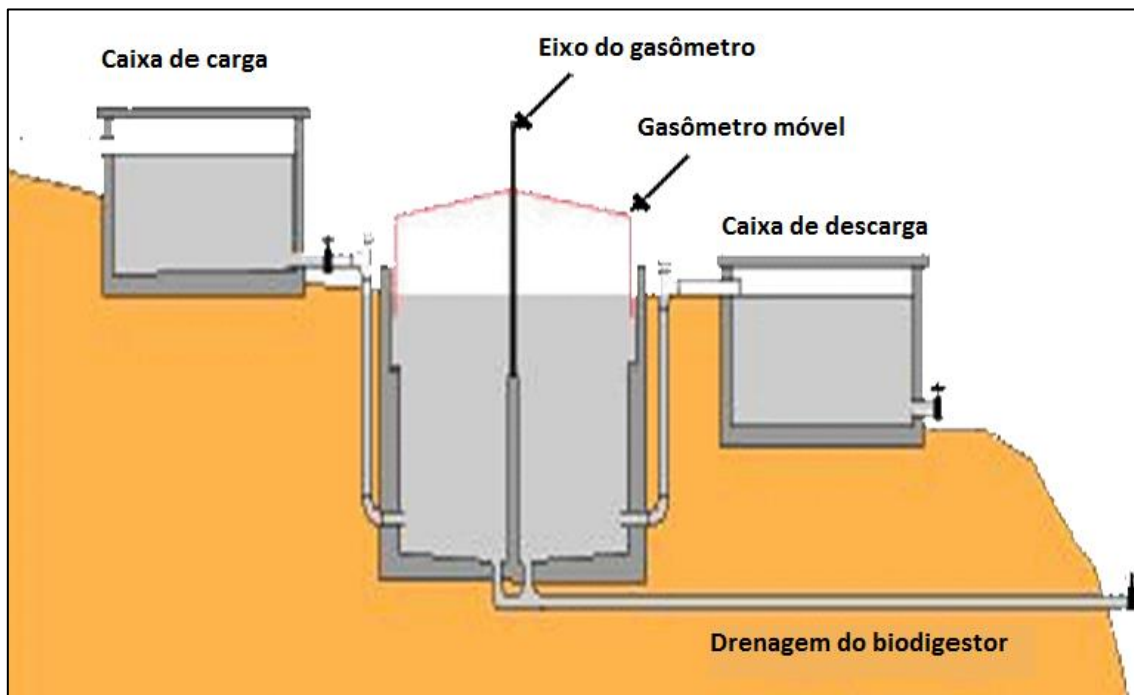
alguns não apresentam nenhum e outros, diversos. A maioria apresenta efeito sobre um grupo particular de bactérias de uma fase específica do processo de digestão anaeróbica, o que pode variar dependendo do antibiótico e de sua concentração. Conseguiu-se provar que a maioria destes medicamentos encontrados no esterco dos animais não inibiu drasticamente a produção de metano quando usado nas dosagens prescritas por médicos veterinários (SANZ et al., 1996).

Diferentes modelos de biodigestores foram criados, variando quanto a tamanho, estrutura e funcionamento. Muitos deles em decorrência de crises econômicas ou energéticas nacionais e mundiais, sendo a principal delas a crise do petróleo de 1970. O biogás representava uma alternativa eficiente e de baixo custo para a geração de energia, pois já havia apresentado bons resultados e já difundido em vários países. Nesta época, os biodigestores Indiano e Chinês foram implantados no Brasil (VELOSO et al., 2010).

#### **2.3.1.2.1. Modelo Indiano**

Primeiro modelo implantado no Brasil devido a características de funcionamento. Ele apresenta formato de poço, onde o substrato será digerido, e uma cúpula móvel, que se movimenta para cima ou para baixo de acordo com a produção de gás (Figura 16). A temperatura pouco variável do solo é aproveitada para o processo de fermentação, favorecendo a ação das bactérias e acelerando a fermentação.

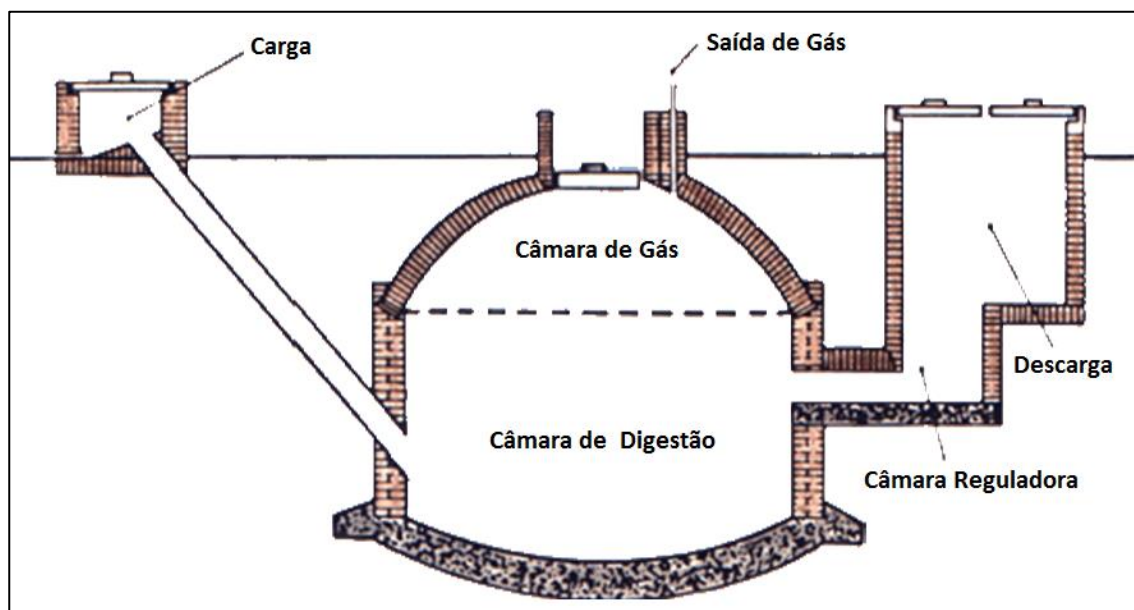
Ele ocupa pouco espaço, pois é subterrâneo, dispensando, portanto a necessidade de cintas de concreto. Exige cuidados quanto a infiltração no lençol freático, por ser subterrâneo. O substrato desse biodigestor, deve apresentar concentração de sólidos totais de até 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material (VELOSO et al., 2010).



**Figura 16 – Funcionamento do biodigestor de modelo Indiano (Fonte: Unesp).**

#### 2.3.1.2.2. Modelo Chinês

Modelo mais rústico, construído em alvenaria e subterrâneo. Apresenta um teto fixo e abobado, onde se acumula o gás (Figura 17).



**Figura 17 – Funcionamento do biodigestor de modelo Chinês (Fonte: Unesp).**

O deslocamento do efluente dentro da câmara de digestão ocorre por aumento de pressões em seu interior. No entanto, parte do gás é liberada para a atmosfera para reduzir a pressão interna. Caso a estrutura não esteja bem vedada e impermeabilizada, há perdas de gás e vazamentos para o lençol freático (VELOSO et al., 2010).

#### **2.4. Outras aplicações da biomassa**

A biomassa não é exclusivamente utilizada como substrato para a geração de biogás. A queima de materiais naturais, como madeira, determinados resíduos vegetais, libera uma grande quantidade de energia que pode substituir outras fontes mais tradicionais e menos sustentáveis. Esta energia em forma de calor pode ser aplicada para aquecimento residencial ou industrial.

Também muito empregado nos países da Escandinávia e Áustria é o sistema de cogeração de energia (CHP), técnica estimulada nos anos oitenta como resultado das políticas nacionais de clima e energia. Ele é normalmente usado para o sistema de aquecimento e aponta uma ótima eficiência, pois a queima de biomassa gera vapor em altas temperaturas e eletricidade a baixos custos. Este sistema favoreceu o desenvolvimento do mercado da biomassa, assim como sua própria tecnologia. Um exemplo é o aproveitamento de palha na Dinamarca, demandando equipamentos capazes de enfardar, de transportar e de armazenar. Outra fonte de biomassa habitual para o CHP são os resíduos florestais. Isso explica o fato de os proprietários de florestas, além dos municípios, também serem os proprietários das plantas de CHP (FAAIJ, 2006).

No Brasil, esta é uma fonte energética muito empregada no setor industrial e de serviços, sendo responsável pela geração de  $18 \cdot 10^6$  MWh no ano de 2007. Este volume foi 21% superior ao do ano de 2006, o que correspondeu por 3,7% da oferta total de

energia elétrica. Ocupando a segunda posição na matriz de eletricidade nacional, superada somente pela hidreletricidade (85,4%). O país possuía 302 usinas termoelétricas movidas a biomassa no ano de 2008, que correspondem a um total de 5,7 mil MW instalados (Figura 16). Deste total, 13 são abastecidas por licor negro (resíduo da celulose), 27 por madeira, três por biogás, quatro por casca de arroz e 252 por bagaço de cana. Uma das vantagens dessas usinas é o pequeno porte com potência instalada de até 60 MW, o que favorece sua instalação em áreas próximas de centros de consumo e suprimento (ANEEL, 2008).

A combustão e a co-combustão de biomassa são mais aplicadas mundialmente para a geração de eletricidade, seguida pela geração de calor. A combustão foi aplicada nos anos oitenta principalmente por indústrias de celulose para incinerar seu lixo industrial e o licor negro, que exibem altos níveis de emissão. Posteriormente, a tecnologia foi aprimorada e caldeiras passaram a ser usadas para incinerar uma maior diversidade de combustíveis, tal como resíduos biológicos. Anos depois a tecnologia foi aperfeiçoada com o intuito de reduzir as emissões de gases, utilizando-se mais biomassa proveniente de madeira e restos florestais. Assim, a eficiência elétrica cresceu de 15-20% nos anos oitenta para 30-40% aproximadamente vinte anos depois (FAAIJ, 2006). As indústrias de papel e madeireiras queimam seus próprios resíduos em grandes caldeiras e boilers para suprir 60% de toda a energia demandada para o seu funcionamento (DEMIRBAŞ, 2001).

A co-combustão representa uma tecnologia em ascensão em vários países, como Espanha, Alemanha e Holanda, por demandar menores investimentos iniciais, pois usinas a carvão são reaproveitadas para a queima de biomassa. Foram testados diversos tipos de biomassa como combustível, variando de lodo a pellets ou madeira. As vantagens deste sistema vão além dos baixos custos de implantação e da alta eficiência

da combustão de algumas usinas. A redução das emissões de gases do efeito estufa substituindo combustíveis fósseis por outros de fontes renováveis, como a biomassa, pode ser considerada como uma de suas principais vantagens (FAAIJ, 2006).

## **2.5. Retorno econômico**

Um dos fatores importantes para a tomada de decisão a respeito de um investimento é a rentabilidade que esse poderá trazer. Nos suinocultores o retorno econômico gerado pela produção e uso do biogás em propriedades variou, possibilitando pequenas reformas nas propriedades em conformidade com a legislação ambiental e, associando a produção de biogás e suinocultura com a redução de custos e geração de renda extra. O mesmo valendo para a avicultura, em venda de créditos de carbono (QUEROL et al., 2015).

Pode-se ainda reduzir custos e gerar renda extra com a utilização e venda do efluente do biodigestor como fertilizante orgânico para o solo. Em suinocultura, o volume total de biofertilizantes é diretamente proporcional à quantidade de animais. Com 4673, 6073 e 7000 suínos, o produtor rural pode então reduzir seus custos com fertilizantes convencionais em R\$ 145.854,08, R\$ 190.070,46, R\$ 218.484,59 por ano, respectivamente. Este valor tem relação direta com a quantidade de nutrientes do biofertilizante (AVACI et al., 2013).

Os créditos de carbono são certificados expedidos por organização internacionalmente reconhecida, como por exemplo, a United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Ela atesta que uma determinada quantidade de gases de efeito estufa foi mitigada. Com o certificado, é possível vender créditos de carbono no mercado. Essa possibilidade conquistou o interesse da indústria de alimentos para a questão do efeito estufa, favorecendo a expansão da produção suína.

No entanto, produtores rurais ainda não têm demonstrado tanto interesse pelos créditos de carbono quanto pela produção de biogás, pois eles não recebem parte do valor arrecadado com sua venda. Além disso, para adquirir estes créditos, é preciso adaptar o projeto de produção de biogás, o que demanda uma estrutura tecnológica que restringe seu uso local. Por isso, a solução ideal para os impasses entre produtores e indústria seria combinar a geração do biogás para o consumo local de energia e para os créditos de carbono (QUEROL et al., 2015). A venda de créditos de carbono reduz em média 60% os custos de produção de energia (AVACI et al., 2013).

A produção de monoculturas energéticas, como a canola e o milho, demanda uma grande quantidade de fertilizantes, herbicidas e inseticidas, que são insumos caros, além de outros custos com combustível para máquinas e tratores para preparar o solo, semear, pulverizar, colher e transportar e também com mão-de-obra (OTT et al., 2007).

Visando reduzir estes custos de produção, utiliza-se o efluente do biodigestor como fertilizante orgânico. Esta é também uma prática muito vantajosa para o meio ambiente, pois permite o tratamento de dejetos e outros resíduos de origem animal, tais como restos de carcaça, cama de frango, esterco suínos e bovinos. A fermentação anaeróbica aumenta a disponibilidade de nitrogênio do biofertilizante, o que favorece um melhor efeito de curto prazo ao fertilizante. Também reduz ao mínimo a concentração de organismos patogênicos, como larvas e ovos de parasitas, o potencial poluidor e os riscos sanitários dos dejetos, pois o número de coliformes fecais e de coliformes totais são significativamente reduzidos (AMARAL et al., 2004; WEILAND, 2010).

Outras fontes de matéria orgânica que não passaram pelo processo de fermentação, como a vinhaça *in natura* e lodo de esgoto, apresentam teores elevados de alguns nutrientes e maior proporção de C/N do que fontes que seguiram por aquele

procedimento. A vinhaça apresenta maior capacidade de liberação rápida de nutrientes após ser biodigerida, tornando-a mais eficiente nutricionalmente. Isso se deve à reação de hidrólise que ocorre durante a primeira etapa da fermentação anaeróbica, fazendo com que os nutrientes sejam hidrolisados e solubilizados (UENO et al., 2014).

Quanto ao retorno do valor investido na produção de biogás, deve-se considerar que o custo da produção de energia elétrica a partir dessa fonte está relacionado ao tempo de operação do sistema e de amortização do investimento estimado e a provável venda de créditos de carbono (AVACI et al., 2013). Além disso, os diversos períodos de geração (horas/dia) de um biodigestor dependem do volume de biomassa e, conseqüentemente, de um número variado de animais. O aumento das frequências de intervenções necessárias para cada período de geração também resulta em aumento de custos anuais (MARTINS & OLIVEIRA, 2011).

Em propriedade com produção média de 554 m<sup>3</sup>/dia de biogás para uma média de 4673 suínos alojados a uma temperatura média de 22,11° C, com um motor gerador que com potência real de 66,2 kW consomem-se de 45,5 m<sup>3</sup>/h de biogás, em consonância com as determinações do fabricante. Além disso, o valor pago pela concessionária de energia elétrica da região é de R\$140,00 MWh (AVACI et al., 2013). Os custos de produção de energia elétrica são competitivos quando inferiores ao valor pago pela concessionária (Tabela 3).

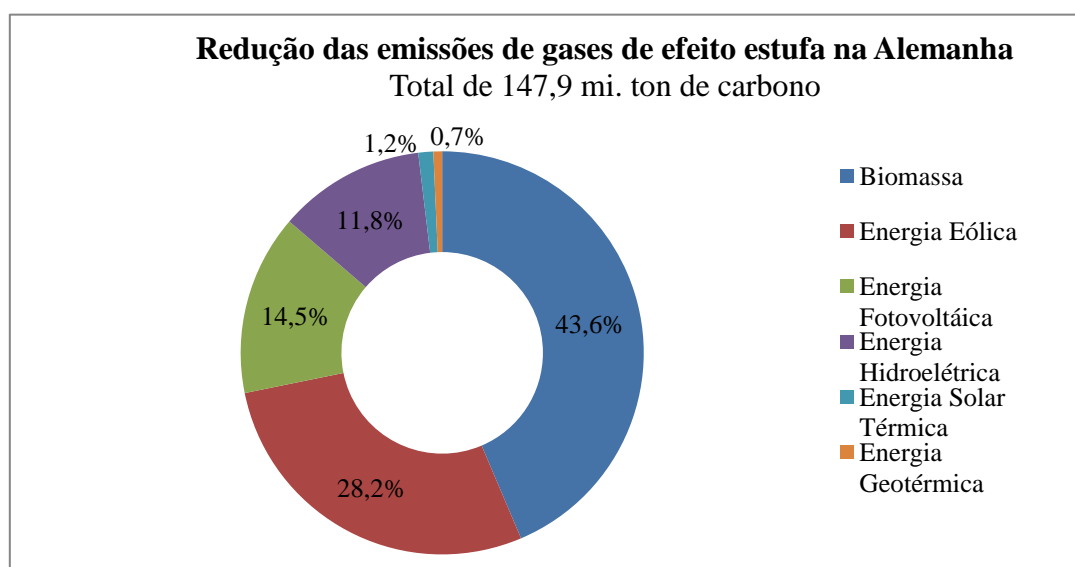
Ou seja, sem a venda de créditos de carbono, os produtores dificilmente conseguirão o retorno do investimento num período inferior a 20 anos. Mas com a venda desses créditos, o tempo de retorno de investimento (TRI) já é reduzido em cerca de 10 anos para alguns cenários, como demonstrado pelos valores marcados na tabela (AVACI et al., 2013).

**Tabela 3 – Custo produção de energia elétrica (R\$ MWh) proveniente do biogás da suinocultura. As marcações na tabela representam os valores competitivos de cada cenário (Adaptado de AVACI et al., 2013).**

Tempo de retorno de investimento (anos)	10 horas/dia		16 horas/dia		20 horas/dia	
	Sem venda de créditos de carbono (R\$ MWh)	Com venda de créditos de carbono (R\$ MWh)	Sem venda de créditos de carbono (R\$ MWh)	Com venda de créditos de carbono (R\$ MWh)	Sem venda de créditos de carbono (R\$ MWh)	Com venda de créditos de carbono (R\$ MWh)
10	289,94	196,4	207,1	130,2	197,02	120,11
15	219,5	126,11	156,7	79,9	149,1	72,26
20	185,8	92,32	132,6	55,77	126,22	49,31

## 2.6. Impactos ambientais

Alguns dos benefícios da geração de energia a partir da biomassa são o reaproveitamento de resíduos, a substituição da combustão de carvão e dos combustíveis fósseis e, conseqüentemente, a redução das emissões de gases do efeito estufa. No ano de 2013, 147,9 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> deixaram de ser emitidas pela Alemanha graças à produção de energias renováveis, como mostra a Figura 18 (FNR, 2014).



**Figura 18 – Redução das emissões de gases do efeito estufa devido à utilização de energias renováveis em 2013 na Alemanha (Adaptado de FNR, 2014).**



Caso seja produzido e utilizado da devida maneira, o biogás pode ser considerado neutro de dióxido de carbono, além de ser um substituto das fontes não renováveis. Outro ponto importante no que se refere aos combustíveis fósseis e, dessa forma, um benefício da biomassa é o preço: a biomassa não pode ser afetada por uma flutuação de preços, por ser um recurso doméstico. O uso de biocombustíveis líquidos pode representar um impacto positivo nos preços de combustíveis fósseis importados, como o petróleo e o diesel (DEMIRBAŞ, 2001).

Apesar destes benefícios, a biomassa apresenta uma alta concentração de enxofre, resultando em emissões de dióxido de enxofre e, conseqüentemente, chuvas ácidas (DEMIRBAŞ, 2001). Por esta razão, um dos tratamentos necessários para a geração de biogás é a dessulfurização. O que também costuma acontecer e é considerado ofensivo ao meio ambiente é a combustão incompleta da madeira, que libera CO<sub>2</sub> e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Isso ainda representa um fator importante, devido à sua constante utilização em alguns países para o aquecimento residencial e para cozinhar.

O uso de culturas energéticas resulta em maiores impactos ambientais do que o de culturas perenes, tais como árvores e gramíneas. Culturas como milho e canola sobrecarregam o solo caso as práticas de conservação do solo não sejam convenientemente aplicadas. Discussões acerca do uso da terra e da possibilidade de desmatamentos devido a práticas agrícolas extensivas ou incorretas ainda são frequentes (DEMIRBAŞ, 2001). Se não corrigidas a tempo, elas podem causar deficiência ou redução de muitos recursos naturais, tais como madeira, água e nutrientes do solo.

A produção de monoculturas gera severos impactos à agricultura, particularmente em relação à preservação do solo devido às interferências no húmus e no balanço de nutrientes no solo. O uso de máquinas pesadas também afeta a estrutura do solo, acelerando o processo de compactação. Além do fato de que as linhas de milho levam

um tempo relativamente longo para se fecharem, o que significa que o solo fica descoberto por um período de seis a nove meses e sujeito às ações do vento e chuva e, conseqüentemente, suscetível a erosões (OTT et al., 2007).

O tema da monocultura foi tratado pelos Profa. Dra. Otte, Prof. Dr. Waldhardt, Dr. Dietmar Simmering e Oliver Ginzler da Justus-Liebig-Universidade de Giessen, Alemanha, no artigo “Biogás x Biodiversidade” (Biogas versus Biodiversität) do Comunicado do DHL (3/2011). Problemas relativos à monocultura têm sido abordados, afetando a paisagem agrícola, devido à redução das espécies de plantas silvestres e dos seus habitat natural e às mudanças na nutrição dos animais que vivem nestas áreas. O número de espécies silvestres de plantas daninhas numa lavoura de milho foi significativamente menor do que numa lavoura de inverno de canola, mostrando as implicações da produção de milho na biodiversidade do campo quando nas proporções de 40% da área, as mudanças aparentes negativas e positivas praticamente se igualam. Mas caso a porção seja maior, então são registradas uma maior quantidade de mudanças negativas do que positivas.

Assim, em Hessen, a redução do cultivo de milho para a produção de biogás é uma providência de urgência a ser tomada para proteger a biodiversidade. Ou, pelo menos, algumas medidas sustentáveis deveriam ser tomadas junto às lavouras para favorecer o desenvolvimento da fauna e flora destas áreas (OTTE et al.; Comunicado do DHL, 3/2011).

## **2.7. Perspectivas Brasileiras**

Vários fatores contribuem para o cenário de expansão do biogás no Brasil. Entre os principais pode-se citar a enorme produção de resíduos provenientes da agricultura e da agroindústria. No ano de 2009, a agroindústria gerou 291.138.869 toneladas de

resíduos e 604.255.461 m<sup>3</sup> de efluentes, principalmente os advindos da cana-de-açúcar (IPEA, 2012). A geração de energia elétrica a partir da produção de biogás da biomassa residual, foi de 1 10<sup>6</sup> MWh/mês, o que é suficiente para suprir por um mês uma cidade de 4,5 milhões de habitantes (ITAIPU BINACIONAL & FAO, 2009).

Os resíduos sólidos urbanos são preocupantes quanto ao meio ambiente, mas, ao mesmo tempo, fonte praticamente inesgotável de energia. Com o aumento da população mundial e o grau de urbanização que representa 75% do total da população vivendo em cidades, torna-se clara a necessidade de um correto gerenciamento da disposição final de resíduos sólidos urbanos. Políticas e planos nacionais têm sido criados para melhorar infraestrutura, coleta seletiva e educação ambiental, além de criar alternativas para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, como o aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários (MMA, 2015).

### **2.7.1. Resíduos potencialmente energéticos produzidos no Distrito Federal**

#### **2.7.1.1. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - Caesb**

A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb) é formada por 17 estações de coleta e tratamento, divide o tratamento em esgotos domésticos preliminares, tratamento a nível primário, secundário e terciário. Nove estações de tratamento de esgoto (ETE's) da Caesb possuem tratamento a nível terciário, enquanto as demais possuem tratamento secundário.

No tratamento preliminar são utilizadas grades, peneiras ou caixas de areia para reter os resíduos maiores e impedir que haja danos às próximas unidades de tratamento e facilitar o transporte do efluente. No tratamento primário são sedimentados os sólidos em suspensão, acumulados no fundo do decantador, formando o lodo primário que depois é retirado para dar continuidade ao processo. Em seguida, no tratamento a nível

secundário, os micro-organismos irão se alimentar da matéria orgânica, convertendo-a em gás carbônico e água. No tratamento a nível terciário são removidos poluentes específicos como os micronutrientes, fósforo e nitrogênio.

Cada uma dessas etapas gera o lodo, que corresponde a cerca de 340 t/dia no DF. O seu tratamento é realizado por digestores que têm a função de estabilizar a matéria orgânica e favorecer a etapa posterior de desidratação. O produto final do tratamento, lodo de esgotos, será encaminhado para destinação final. A Caesb incentiva a sua incorporação ao solo agricultável, favorecendo a reciclagem de nutrientes e de matéria orgânica em atividades de agricultura, de silvicultura ou de recuperação de áreas mineradas ([www.caesb.df.gov.br](http://www.caesb.df.gov.br)).

Pode-se observar então um grande potencial de geração de biogás dentro do sistema de tratamento de esgoto, pois há duas possíveis fontes: o tratamento a nível secundário do esgoto e o tratamento do lodo de esgoto. Porém, nenhum deles é aproveitado.

#### **2.7.1.2. Serviço de Limpeza Urbana - SLU**

A unidade do Serviço de Limpeza Urbana (SLU) de Ceilândia é responsável pelo recolhimento e separação do lixo orgânico proveniente de Taguatinga, Ceilândia e Samambaia, sendo que somente Taguatinga possui a coleta seletiva do lixo, onde os residentes são responsáveis pela separação em lixo seco e orgânico. A visita ocorreu no dia 20 de novembro de 2015 e foi guiada pelo Sr. Carlos Dias, com o objetivo de verificar in loco a obtenção de composto e resíduos.

A unidade recebe aproximadamente 300 caminhões de lixo por dia, sendo que o mês de outubro de 2015 registrou a coleta de 16.679.950 toneladas de lixo domiciliar,

59.900 toneladas de sucata, 659.470 toneladas de lixo reciclável. Durante a separação dos materiais recicláveis, o material em sua maioria orgânico e de tamanho pequeno que passa por peneiras, sendo depositado em composteiras. Neste mesmo período produziram-se 1.151.600 toneladas do material, que posteriormente foi analisado quanto à sua composição química e peneirado algumas vezes, para retirar a enorme quantidade de resíduos, como pequenos pedaços de plástico e de vidro. O material é então compostado, até que esteja pronto para doação ou venda como adubo fertilizante (C. D., comunicação pessoal).

A área das composteiras (Figura 19) é asfaltada e possui um sistema de captação do chorume (Figura 20) liberado durante a decomposição do lixo orgânico, o que gerou 138.650 m<sup>3</sup> desse resíduo líquido somente na segunda quinzena do mês de outubro de 2015. Depois, é depositado e levemente tratado em uma sequência de seis tanques abertos (Figura 21).



**Figura 19 – Área das composteiras, mostrando esteira de deposição de material orgânico.**





**Figura 20 – Sistema de captação de chorume.**



**Figura 21 – Tanques de captação e tratamento de chorume.**

No tratamento é feito com a adição de cal virgem, para que o chumbo e os metais pesados precipitem e uma parcela de matéria orgânica presente decante, separando-se a fração líquida para o próximo tanque. A matéria orgânica acumulada é encaminhada ao aterro sanitário e a parte líquida é levada à Caesb para ser tratada juntamente com o lodo de esgoto.

Foi possível observar a produção de gases, tendo em vista a significativa produção de bolhas devido à fermentação que ocorre dentro destes tanques. Esta é uma potencial fonte de energia para a unidade e região, fato que já foi observado até mesmo por entidades internacionais. Já foi criado um projeto para captação do gás nestes tanques por uma dessas entidades, que também se comprometeu a implantá-lo gratuitamente e a doar parte da energia gerada à rede elétrica. O projeto foi devidamente apresentado ao governo, que não demonstrou nenhum interesse e, com isso, o nunca foi posto em prática. Consequentemente, não há captação alguma desses gases, que são lançados para a atmosfera sem qualquer tratamento, poluindo-a.

### **2.7.1.3. Viveiro da Novacap**

O viveiro II da Novacap (Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil) produz mudas de árvores e recicla os resíduos provenientes das podas e das limpezas de folhas e árvores mortas, por meio da compostagem. A visita ocorreu no dia 20 de novembro de 2015 e foi guiada pelo Engenheiro Agrônomo Saulo Ulhoa, responsável pelo viveiro, com o objetivo de verificar in loco a obtenção de composto e resíduos.

Primeiramente, esses resíduos são triturados em máquinas específicas para tal (Figura 22) e colocados em trincheiras (Figura 23).





**Figura 22 – Máquina trituradora de folhas e galhos finos de árvores.**



**Figura 23 – Trincheiras de compostagem.**



Cada trincheira suporta aproximadamente o volume de 250 a 300 caminhões cheios e não triturados. O destino deste composto é a adubação de canteiros de flores da cidade e das mudas dos viveiros I (palmeiras) e II, e parte do volume total do composto é disponibilizado pela Emater (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do DF) para os pequenos produtores da região (S. U., comunicação pessoal).

Os pedaços de troncos e galhos grossos (Figura 24) apresentam uma demorada decomposição e ocupam um espaço muito grande. Acredita-se que essa madeira apresenta um grande potencial de geração de energia elétrica a partir da incineração do material preferencialmente picado, para reduzir perdas. Uma das vantagens é a proximidade do viveiro com uma estação da CEB, para onde a energia gerada poderia ser distribuída sem altos custos com fiação. Outra destinação para este material é o uso do cavaco (material triturado) nas casas de vegetação do viveiro, cobrindo o solo e, conseqüentemente, reduzindo o crescimento de plantas daninhas, que demandam grande mão-de-obra (U. S., comunicação pessoal).



**Figura 24 – Trincheiras repletas de troncos e galhos grossos.**

#### **2.7.1.4. Suinocultura**

A suinocultura na região Centro-Oeste do Brasil tem apresentado forte crescimento nos últimos anos, marcada por investimentos na região, devido à grande disponibilidade de grãos. No Distrito Federal, a cadeia produtiva é constituída por um grupo pequeno de produtores e de frigoríficos, cuja oferta de produtos não atende à demanda do mercado, o que representa grandes oportunidades de crescimento. Apesar da alta renda per capita da população do DF, o consumo interno ainda é baixo e, conseqüentemente, o setor depende de exportações para sua manutenção (SEBRAE DF, 2007). Mesmo diante de um grupo pequeno de agricultores e suinocultores, a produção de resíduos é constante e, por isso, as medidas de tratamento desses dejetos devem ser tomadas, o que favorece a implantação dos biodigestores.

No ano de 2011 ocorreu uma reunião entre suinocultores do DF associados à DFSuin (Associação de Criadores de Suínos do DF) e quatro empresas do setor de energias renováveis com o intuito de estimular a implantação de biodigestores nas propriedades produtoras de suínos. Estudos de viabilidade seriam feitos para que próximas etapas do projeto fossem elaboradas (DFSuin, 2011). No entanto, nenhuma nova informação foi disponibilizada no sítio eletrônico da Associação.

### **3. CONCLUSÕES**

A meta do distrito de Marburg-Biedenkopf na Alemanha de se tornar energeticamente autossuficiente é ambiciosa, mas pode ser alcançada por disponibilidade de biomassa, acesso às inovações tecnológicas, interesse da comunidade e a legislação apoiando a implantação das energias renováveis por meio de incentivos financeiros. Apesar de o Brasil ainda não possuir tantas facilidades para a geração de

bioenergias, o interesse da população tem aumentado consideravelmente, assim como as inovações tecnológicas e o apoio do governo.

São inúmeras as vantagens de se gerar energia a partir do reaproveitamento de resíduos, entre eles a redução das emissões de gases de efeito estufa, manutenção de recursos naturais como o solo e a água, produção de um biofertilizante de qualidade e criação de fontes de renda extra. Entretanto, o investimento inicial é considerado alto para pequenos produtores e o tempo de amortização é variável e depende de diversos fatores, que podem tanto facilitar como dificultar a tomada de decisão das pessoas interessadas. Além disso, é preciso estimular o consumo consciente, pois não seria viável produzir uma determinada quantidade de energia renovável, para que uma parte considerável dela seja desperdiçada em consequência de utilização inapropriada.

O Brasil apresenta potencial para geração de energia a partir da biomassa por grande disponibilidade de resíduos provenientes da agropecuária e da agroindústria, além dos resíduos sólidos urbanos. A biodigestão anaeróbica dos resíduos é uma alternativa eficiente para amenizar os efeitos negativos desse material rejeitado.

A amplificação da matriz elétrica demanda tempo, mas os resultados são favoráveis, como mostram os exemplos de diversos países. Os maiores obstáculos não são normalmente acarretados por problemas técnicos ou falta de recursos, mas sim pela pouca informação sobre potenciais produtores de energia, por reservas da população ou pela burocracia. Por isso é de extrema importância que pesquisas sejam feitas na obtenção e adaptação de novas tecnologias nessa área e que mais projetos governamentais de fomento a essas fontes renováveis sejam criados e disponibilizados à população.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Adubação – resíduos alternativos. Disponível em sítio eletrônico [www.agencia.cnptia.embrapa.br](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br). Acessado em 25 de novembro de 2015.
- AMARAL, C. M. C. do, AMARAL, L. A. do, JÚNIOR, J. de L., NASCIMENTO, A. A. do, FERREIRA, D. de S., MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1897-1902, nov-dez, 2004.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. - Atlas de energia elétrica do Brasil, 3ª Edição, 2008.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - Matriz de Energia Elétrica. Disponível em sítio eletrônico [www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm). Acessado em 25 de novembro de 2015.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em sítio eletrônico [www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf](http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf) . Acessado em 09 de novembro de 2015.
- AVACI, A. B., SOUZA, S. N. M. de, CHAVES, L. I., NOGUEIRA, C. E. C., NIEDZIALKOSKI, R. K., SECCO, D. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.456–462, 2013.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Wege zum Bioenergiedorf, 2015. Disponível em sítio eletrônico [www.wege-zum-bioenergiedorf.de/wege-zum-bioenergiedorf/](http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de/wege-zum-bioenergiedorf/) Acessado em 17 de outubro de 2015.

- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Bioenergie-Regionen, 2015. Disponível em sítio eletrônico [www.bioenergie-regionen.de/bioenergie-regionen-2012-2015/](http://www.bioenergie-regionen.de/bioenergie-regionen-2012-2015/). Acessado em 17 de outubro de 2015.
- BRAUN, R. Anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development. In: Ranalli P (ed) **Improvement of crop plants for industrial end uses**. Springer, Dordrecht, p. 335–415, 2007.
- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Sistemas de Esgotamento. Disponível em sítio eletrônico [www.caesb.df.gov.br/esgoto/sistemas-de-esgotamento.html](http://www.caesb.df.gov.br/esgoto/sistemas-de-esgotamento.html) Acessado em 21 de novembro de 2015.
- DEMIRBAŞ, A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. **Energy Conversion and Management**, v. 42, i. 11, p. 1357–1378, 2001.
- DFSuin – Associação de Criadores de Suínos do Distrito Federal. Implantação de biodigestores gera discussões e promete novos rumos para a suinocultura no DF, 2011. Disponível no sítio eletrônico [www.suinobrasilia.com.br/informativo-dfsuin/94-implantacao-de-biodigestores-gera-discussoes-e-promete-novos-rumos-para-a-suinocultura-no-df](http://www.suinobrasilia.com.br/informativo-dfsuin/94-implantacao-de-biodigestores-gera-discussoes-e-promete-novos-rumos-para-a-suinocultura-no-df) Acessado em 20 de novembro de 2015.
- EGE – Energiegenossenschaft Erfurtshausen e.G., 2014. Disponível em sítio eletrônico [www.energiegenossenschaft-erfurtshausen.de/](http://www.energiegenossenschaft-erfurtshausen.de/) Acessado em 8 de maio de 2014.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Silagens: oportunidades e pontos críticos. Comunicado técnico 43, 2004. Disponível em sítio eletrônico [www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65412/1/COT-43-Silagens-oportunidades-e.pdf](http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65412/1/COT-43-Silagens-oportunidades-e.pdf) Acessado em 17 de novembro de 2015.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Produção de etanol: primeira ou segunda geração? Circular Técnica 04, 2011. Disponível em sítio

eletrônico [www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf).

Acessado em 17 de dezembro de 2015.

FAAIJ, A. P. C. Bio-energy in Europe: changing technology choices. **Energy Policy**, v. 34, i.3, p. 322–342, 2006.

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Guia Prático do Biogás, 2013.

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Bioenergiedörfer und –regionen. Disponível em sítios eletrônicos [www.bioenergie.fnr.de/bioenergie/bioenergiedoerfer-und-regionen/](http://www.bioenergie.fnr.de/bioenergie/bioenergiedoerfer-und-regionen/) e [www.weg-zum-bioenergiedorf.de/](http://www.weg-zum-bioenergiedorf.de/) Acessados em 14 de agosto de 2015.

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Energiepflanzen, 2015. Disponível em sítio eletrônico [www.energiepflanzen.fnr.de/](http://www.energiepflanzen.fnr.de/) Acessado em 1 de outubro de 2015.

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Anbausysteme, [www.energiepflanzen.fnr.de/anbausysteme/](http://www.energiepflanzen.fnr.de/anbausysteme/)

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Getreide, [www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/getreide/](http://www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/getreide/).

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Energieholz, [www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/energieholz/](http://www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/energieholz/).

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Mais, [www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/mais/](http://www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/mais/).

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Miscanthus, [www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/miscanthus/](http://www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/miscanthus/).

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Silphium, [www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/durchwachsene-silphie/](http://www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/durchwachsene-silphie/).

- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Sorghumhirsen, [www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/weitere-energiepflanzen/](http://www.energiepflanzen.fnr.de/energiepflanzen/weitere-energiepflanzen/)
- FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Grafiken und Fakten, 2014 e 2015. Disponível em sítio eletrônico [www.mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/karte-bioenergiedorfer.html](http://www.mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/karte-bioenergiedorfer.html). Acessado em 20 de outubro de 2015.
- GEMMEKE, B., RIEGER, C., WEILAND, P. Biogas-Messprogramm II, 61 Biogasanlagen im Vergleich. FNR, Gülzow, 2009.
- GREENPEACE – Revolução Energética, 2010. Disponível em sítio eletrônico [www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF](http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF) Acessado em 2 de novembro de 2015.
- HARVOLK, S., KORNAZ, P., OTTE, A., AND SIMMERING D. Using existing landscape data to assess the ecological potential of Miscanthus cultivation in a marginal landscape, **Global Change Biology Bioenergy**, DOI: 10.1111/gcbb.12078, 2013.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Dados anuais de rebanhos e produção animal, 2010. Disponível em sítio eletrônico [www.seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=0&vcodigo=PPM01&t=efetivo-rebanhos-tipo-rebanho](http://www.seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=0&vcodigo=PPM01&t=efetivo-rebanhos-tipo-rebanho) Acessado em 1 de novembro de 2015.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas, 2012.
- ITAIPU BINACIONAL & FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) – Agroenergia da *biomassa residual*: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais 2ª edição revisada, **TechnoPolitik Editora**, 2009.
- JORNAL OBERHESSISCHE PRESSE, 17.03.2014 – Auf dem Weg zum Bioenergiedörfer - „Kleinseelheim nimmt die erste Hürde“. Disponível em sítio

eletrônico [www.op-marburg.de/Lokales/Ostkreis/Kleinseelheim-nimmt-die-erste-Huerde](http://www.op-marburg.de/Lokales/Ostkreis/Kleinseelheim-nimmt-die-erste-Huerde) Acessado em 23 de abril de 2014.

JORNAL OSNABRÜCKER, 09.12.2013 - Koalitionspläne treffen Biogasbranche hart.

Disponível em [sítio eletrônico www.noz.de/deutschland-welt/wirtschaft/artikel/434579/koalitionsplane-treffen-biogasbranche-hart](http://www.noz.de/deutschland-welt/wirtschaft/artikel/434579/koalitionsplane-treffen-biogasbranche-hart).

Acessado em 21 de novembro de 2015.

KLEINSEELHEIM – Bioenergiedorf Kleinseelheim, 25.02.2014. Disponível em [www.kleinseelheim.de/aufgaben-fuer-morgen/bioenergiedorf/](http://www.kleinseelheim.de/aufgaben-fuer-morgen/bioenergiedorf/) . Acessado em 16 de abril de 2014.

KMB - Klimashcutz Marburg-Biedenkopf. “Klimaschutz Gemeinsam – Bürgerbericht zum Masterplan 100% Klimaschutz (Citizens Report to the Master plan 100% Climate Protection)”, Web Version, Landkreis Marburg-Biedenkopf (District). Download disponível em [sítio eletrônico www.klimaschutz.marburg-biedenkopf.de/kommunenvereine/klimastrategie-2050/klimaschutzziele/](http://www.klimaschutz.marburg-biedenkopf.de/kommunenvereine/klimastrategie-2050/klimaschutzziele/). Acessado em 4 de novembro de 2015.

KMB - Klimashcutz Marburg-Biedenkopf. Klimaschutzziele, 2015. Disponível em [sítio eletrônico www.klimaschutz.marburg-biedenkopf.de/kommunenvereine/klimastrategie-2050/klimaschutzziele/](http://www.klimaschutz.marburg-biedenkopf.de/kommunenvereine/klimastrategie-2050/klimaschutzziele/). Acessado em 10 de agosto de 2015.

KMB - Klimashcutz Marburg-Biedenkopf. Masterplan 100% Klimaschutz, 2015. [www.klimaschutz.marburg-biedenkopf.de/privatperson/klimastrategie-2050/strategie/masterplan/](http://www.klimaschutz.marburg-biedenkopf.de/privatperson/klimastrategie-2050/strategie/masterplan/) Acessado em 10 de agosto de 2015.

LEITE, V. D., SOUSA, J. T. de, PRASAD, S., LOPES, W. S., ATHAYDE JÚNIOR, G. B., DANTAS, A. M. M. Tratamento de resíduos sólidos de centrais de



- abastecimento e feiras livres em reator anaeróbio de batelada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.318-322, 2003.
- MARTINS, F. M., OLIVEIRA, P. A. V. de. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.477-486, maio/jun., 2011.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários, 2015. Disponível em sítio eletrônico [www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario](http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario). Acessado em 25 de novembro de 2015.
- OLIVEIRA, A. B. de M., ORRICO, A. C. A., ORRICO JÚNIOR, M. A. P., SUNADA, N. da S., CENTURION, S. R. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.6, p. 690-700, nov/dez, 2011.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P., ORRICO, A. C. A., LUCAS JÚNIOR, J. de. Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.546-554, maio/jun. 2010.
- OTT K., VON RUSCHKOWSKI E., VOGET L. Nutzungskonflikte zwischen Biomasseanbau, Naturschutz und Klimaschutz. **Wissenschaftsverbund Um-Welt, Nutzungskonflikte bei nachwachsenden Rohstoffen**, Universität Rostock, p. 53-65, 2007.
- PINTO, C. P. Tecnologia da Digestão Anaeróbia da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável. Dissertação de Mestrado da Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 1999.
- QUADROS, D. G. de, OLIVER, A. de P. M., REGIS, U., VALLADARES, R., SOUZA, P. H. F. de, FERREIRA, E. de J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de

- caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.326–332, 2010.
- QUEROL, M. P., SEPPÄNEN, L., JACKSON FILHO, J. M., Understanding the motivational perspectives of sustainability: A case of biogas production. **Production**, v. 25, n. 2, p. 266-277, abr-jun, 2015.
- SANZ, J. L., RODRÍGUEZ, N., AMILS, R. The action of antibiotics on the anaerobic digestion process. **Applied Microbiology and Biotechnology**, V. 46, I. 5-6, p. 587-592, 1996.
- SEBRAE DF – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. APL de Suinocultura – Plano de Desenvolvimento Preliminar, 2007.
- SILVA, T. N., CAMPOS, L. M. S. Avaliação da produção e qualidade do gás para energia de aterro sanitário dos Bandeirantes – SP. **Eng. sanit. Ambiente**, V.13, nº 1, 2008.
- UENO, C. R. J., COSTA, A. C. S. da, GIMENES, M. L., ZANIN, G. M. Agricultural recycling of biodigested vinasse for lettuce production. **Revista Ambiente & Água**, vol. 9, n. 4, Taubaté, Oct. – Dez, 2014.
- UNESP – Universidade Estadual Paulista. Figuras de biodigestores Indiano e Chinês. Disponível em sítio eletrônico [www.unesp.br](http://www.unesp.br). Acessado em 09 de dezembro de 2015.
- VELOSO, A. V., SOUZA, W. L. de, ARAÚJO, O. M. M., SANT’ANNA, M. C. S. de, ALMEIDA, J. K. T. C. de, SILVA, I. P da. Análise dimensional de um biodigestor piloto baseado no modelo indiano utilizando resíduos alimentares. **Anais do VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, Campina Grande – Paraíba, Agosto de 2010.

VOLLGAS – Vollgas Bioenergie GmbH & Co KG. 6.900 t Maissilage gehäckselt und eingelagert, 2011. Disponível em sítio eletrônico [www.vollgas-bioenergie.de/2011/09/6-900-t-maissilage-gehackt-und-eingelagert](http://www.vollgas-bioenergie.de/2011/09/6-900-t-maissilage-gehackt-und-eingelagert).

Acessado em 22 de novembro de 2015.

WEILAND, P. Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany. **Engineering in Life Sciences**, v. 6, i. 3, p. 302-309, 2006.

WEILAND, P. Biogas production: current state and perspectives. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 85, i. 4, p. 846-860, 2010.