

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MURILO ZAVADINACK

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PERSPECTIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ESTADO DO PARANÁ

CURITIBA

2016

MURILO ZAVADINACK

PERSPECTIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ESTADO DO PARANÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina ENGF006 e requisito parcial obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

CURITIBA

2016

AGRADECIMENTOS

A todos os professores, que de alguma forma sempre me incentivaram a continuar nesse caminho, em especial ao meu orientador deste trabalho, professor Dimas Agostinho da Silva, pelo incentivo e apoio as novas ideias e iniciativas.

Aos meus colegas de turma e todos meus amigos, que caminharam todos esses anos ao meu lado, que me deram o apoio necessário para completar essa jornada.

A minha família e minha namorada Linéia R. Zen, por terem sempre me dado todo o apoio em minhas escolhas, dando forças em momentos difíceis e comemorando ao meu lado minhas conquistas.

RESUMO

As fontes de energia sempre são alvo de discussões ambientais e econômicas, estando sempre em destaque. Fontes de energia renováveis vêm ganhando cada vez mais espaço, como o biogás. O Paraná é destaque quando se trata do assunto, sendo o estado que possui o maior número de biodigestores instalados, e com crescentes investimentos nessa tecnologia. Este trabalho tem por objetivo levantar dados sobre a produção de biogás no estado, proveniente de diferentes substratos, e compara-los com o potencial total de produção. Junto com a pesquisa também foram feitos levantamentos da possibilidade de produção de biogás com resíduos florestais, analisando sua viabilidade de produção. Como resultados, o Paraná apresenta cerca de 3% de todo seu potencial de produção de biogás em utilização, sendo proveniente em cerca de 80% de indústrias de alimentos e bebidas, seguido da suinocultura, setor que vem crescendo significativamente na produção de biogás. A produção de biogás a partir de resíduos florestais ainda se mostra inviável, devido ao tempo de decomposição elevado dos resíduos, causados principalmente pela lignina presente na sua constituição.

Palavras-chave: Energia, resíduos, biodigestores, alternativa, florestais.

ABSTRACT

Energy sources are always the subject of environmental and economic discussions, always being highlighted. Renewable energy sources are gaining more and more space, such as biogas. Paraná is a highlight when it comes to the subject, being the state that has the largest number of biodigestors installed, and with increasing investments in this technology. This work aims to collect data on the production of biogas in the state, coming from different substrates, and compares them with the total potential of production. Along with the research were also made surveys of the possibility of biogas production with forest residues, analyzing their viability of production. As a result, Paraná presents about 3% of all its biogas production potential in use, coming from around 80% of food and beverage industries, followed by swine, a sector that has been growing significantly in biogas production. The biogas production from forest residues is still unfeasible, due to the high decomposition time of the residues, mainly caused by the lignin present in its constitution.

Keywords: Energy, waste, bioreactors, alternative, forest.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo geral	3
2.2	Objetivos específicos	3
3	REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1	Fontes de energia no Mundo	4
3.2	Fontes de energia primária no Brasil.....	5
3.3	Biogás como fonte de energia renovável.....	6
3.4	Conceito de Biogás	7
3.5	Fatores que afetam a Biodigestão	10
3.6	Poder calorífico do biogás e finalidades	10
3.5	Biodigestor	12
3.6	Substrato.....	16
3.7	Resumo da cadeia produtiva do biogás.....	16
4	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1	Coleta de dados.....	19
4.2	Fórmulas de cálculos para potencial de biogás.....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1	Potencial energético de substratos no estado do Paraná.....	21
5.2	Biodigestores no Paraná	24
5.3	Biomassa Lignocelulósica	29
5.4	Resíduos gerados no setor Florestal.....	30
5.5	Produção de Biogás no setor florestal.....	30
6	CONCLUSÕES	32
7	RECOMENDAÇÕES	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios atuais é de encontrar novas fontes de energia, uma vez que a exploração de energia fóssil vem se mostrando cada vez mais prejudicial para o meio ambiente, com custos cada vez mais elevados, gerando conflitos econômicos e sociais.

Existem várias possibilidades de geração de energia renovável sem causar grandes danos ao meio ambiente, como eólica, solar, hidráulica, biomassa (Cana-de-açúcar, palha de arroz, etc), lenha, carvão vegetal, biodiesel e biogás, a última sendo uma fonte de energia que vem ganhando cada vez mais destaque, por ser de fácil produção e gerar energia diminuindo a poluição do meio ambiente.

O biogás está nas pautas mais atuais de discussão sobre energia e meio ambiente, sendo uma fonte de energia renovável que se mostra extremamente viável e limpa, gerando interesse de investidores na área.

O estado do Paraná possui diversos biodigestores funcionando regularmente, com diferentes substratos e finalidades, muitas vezes gerando energia suficiente para suprir a necessidade das indústrias de outras fontes de energia.

Apesar de todas as suas qualidades, a produção de biogás ainda está longe de alcançar todo seu potencial, visto que a quantidade de biomassa descartada em lixões ou simplesmente deixadas de lado pelas empresas é muito grande, sem um destino sustentável. O que poderia ser uma fonte de energia diminuindo custos e gerando renda muitas vezes se torna apenas um montante de “lixo”.

A partir dessas informações faz-se necessário aumentar o conhecimento sobre essa tecnologia, visando alcançar cada vez mais espaço na matriz energética brasileira.

O biogás pode ser gerado de diversas fontes de biomassa, desde resíduos da pecuária até resíduos industriais. Resíduos florestais são pouco citados no quadro dos substratos produtores de biogás, porém não está descartada a hipótese de participarem significativamente desse processo. Resíduos de poda, folhas, raízes, ou qualquer material lenhoso pode vir a compor substratos formadores de biogás. Além de material lenhoso pode ser citado como subproduto florestal o licor negro, resíduo da indústria de polpa e papel que tem como destino final a combustão, mas que

também pode ser utilizado como fonte de biogás, mesmo sendo um processo mais complexo, mas que se pode dar uma finalidade sustentável.

Os desafios na implantação de biodigestores estão nas fontes de informação limitadas e nos investimentos nesse setor, que apesar de existirem, ainda são poucos, necessitando assim de estudos sempre atualizados acerca do assunto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Levantar dados a respeito da produção de biogás no Paraná, comparando diferentes formas de produção e diferentes substratos.

2.2 Objetivos específicos

- A partir de ferramentas on-line obter dados sobre biodigestores instalados no Paraná;
- Possibilidade de produção de biogás a partir de substratos que contenham resíduos florestais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

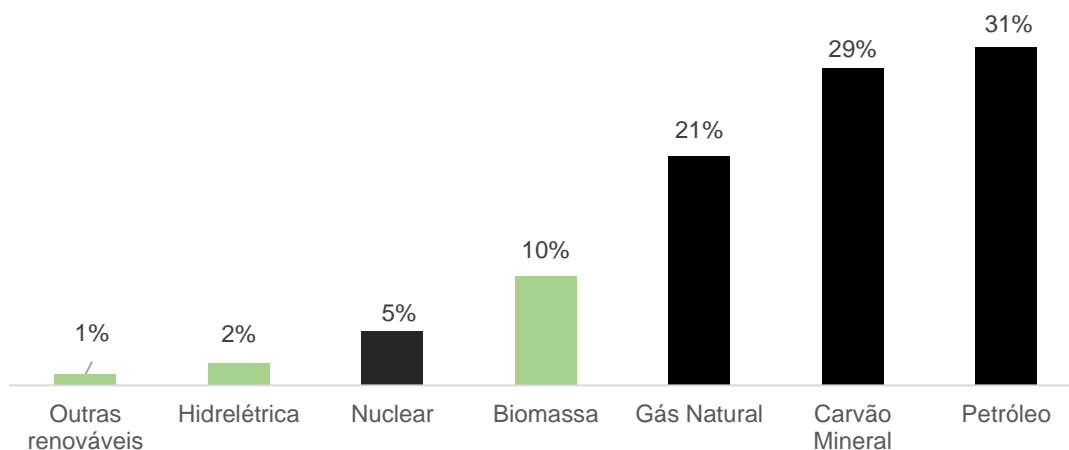
3.1 Fontes de energia no Mundo

Discussões a respeito da escassez de petróleo tiveram início nas décadas de 70 e 80, quando foi necessário revisar a matriz energética mundial, países dependentes de energia externa começaram a buscar fontes alternativas de energia, visando suprir sua necessidade (FERREIRA et al., 2006). É fundamental para uma nação garantir energia suficiente para seu desenvolvimento, sendo ela ecologicamente correta e segura. O Brasil é considerado referência mundial no que diz respeito a energia renovável, além de possuir petróleo em águas profundas e produção de etanol (TOLMASQUIM, 2012).

A energia renovável é aquela que é proveniente de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não-convencionais, ou seja, aquelas não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas (PACHECO, 2006).

A matriz energética mundial nos países industrializados ainda é formada em sua maioria por combustíveis não renováveis, como o petróleo, carvão mineral, gás natural, energia nuclear como mostra a FIGURA 1. As fontes renováveis, como energia solar, eólica, hidráulica, biomassa, ainda representam uma baixa porcentagem na matriz energética total, mas podem substituir as demais fontes não renováveis, dando uma alternativa sustentável ao meio ambiente e ser uma nova fonte de rendimento econômico (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2014).

FIGURA 1- PERCENTUAL DA DIFERENTES FONTES DE ENERGIAS DO MUNDO

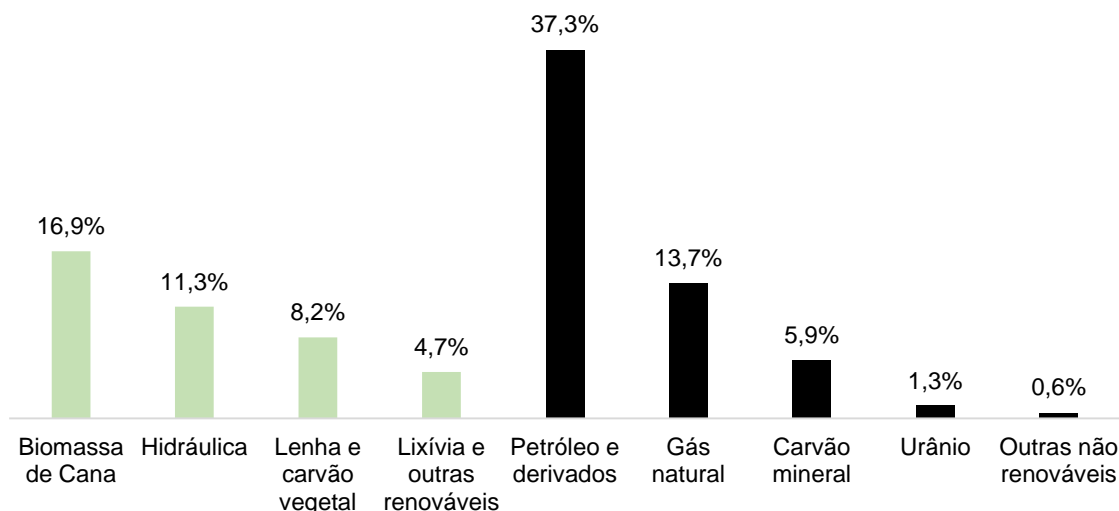


FONTE: IEA (2013).

3.2 Fontes de energia primária no Brasil

O Brasil apresenta grande parte da sua energia primária proveniente de fontes renováveis, principalmente pela capacidade de implantação de usinas hidrelétricas e de possuir terras férteis para plantios com capacidade de gerar energia com fontes de biomassa, como mostra na FIGURA 2. O país conta com grande participação de fontes renováveis na produção de energia, representando 41,2% do total, dos quais 16,9% vem da biomassa da cana de açúcar, 11,3% hidráulica, 8,2% carvão vegetal e 4,7% de outras fontes renováveis. Ainda assim tem-se 58,8% de nossa produção baseada em não renováveis, sendo 37,3% de petróleo e derivados, 13,7% de gás natural, 5,9% carvão mineral, 1,3% urânio e derivados e 0,6 % de outras (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2016).

FIGURA 2 - OFERTA BRASILEIRA DE ENERGIA



FONTE: EPE, (2016).

3.3 Biogás como fonte de energia renovável

Em busca de novas fontes de energia, temos como opção viável o biogás, fonte de energia renovável capaz de gerar energia térmica, elétrica, mecânica ou combustível (GNV). Apresenta potencial para diminuição da emissão de gases de efeito estufa, substituindo a emissão de CH₄ (Metano) por gases de CO₂ (Dióxido de carbono), além de produzir biofertilizantes, diminuindo a contaminação do meio ambiente (MACHADO, 2016).

Ainda conforme IEA (2016) a demanda global de energia está crescendo rapidamente, onde 88% dessa demanda é atendida atualmente por combustíveis fósseis. Esse cenário tem mostrado que a demanda de energia aumentará, e ao mesmo tempo as concentrações de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera aumentarão também. Neste contexto, o biogás a partir de resíduos, irão desempenhar um papel vital no futuro. O biogás é um produto de fonte de energia renovável, que pode ser utilizada para combustíveis fósseis na produção de energia e calor, e ser utilizado também como combustível para veículos gasosos. O Biogás é rico em metano (Biometano) e pode substituir também o gás natural como matéria-prima originando produtos químicos e diferentes subprodutos (WEILAND, 2009).

Os investimentos do Brasil no setor de biogás ainda são pequenos se comparados com o potencial de produção agropecuária e industrial do país. Segundo estudos da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016), apenas com a destinação de resíduos o Brasil pode reduzir as emissões de metano, que são equivalentes a 29 milhões de toneladas de gás carbônico (CO₂) por ano, gerando eletricidade e podendo abastecer uma população de cerca de 1,5 milhões de pessoas.

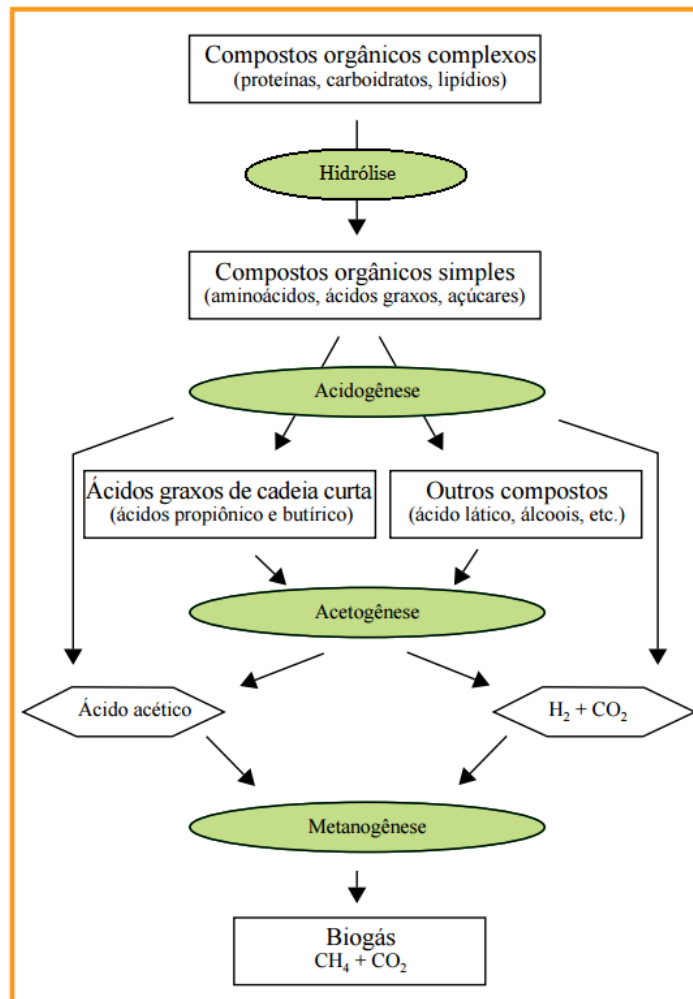
O Brasil está em segundo lugar no ranking dos países com maior capacidade renovável instalada acumulada para a geração de energia por meio de biomassa, com 11,5%, atrás somente dos Estados Unidos, com 12,7% (*INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA), 2014*). O país tem enorme potencial em vista da quantidade de resíduos gerados, como vinhaça, palha e bagaço de cana-de-açúcar, palha de arroz, caroço de algodão, bagaço de soja, bagaço e caroço de frutas, além de resíduos urbanos como lixo, esgoto, resíduos de podas e capinas, e dejetos de animais, caso dos bovinos, suínos, frangos e até de peixes. Ao invés desses resíduos irem para os lixões, podem produzir energia limpa, diminuindo a poluição do meio ambiente e ainda criando renda (Machado, 2016).

3.4 Conceito de Biogás

O biogás tem origem no processo de biodigestão anaeróbia que ocorre pela degradação, transformação ou decomposição da biomassa, realizada por microrganismos. Alguns produtos sintéticos também podem ser digeridos, os quais são conhecidos como produtos biodegradáveis (OLIVEIRA, 2005). Segundo Ozturk e Demirciyeva (2013) a composição do biogás é de 40 a 70% de metano (CH₄), 30 a 60% de dióxido de carbono (CO₂), e partes de sulfeto de hidrogênio (H₂S). O metano é o gás de maior interesse na mistura, sendo que quanto maior seu percentual, maior será o poder calorífico do biogás.

O processo de formação do biogás é complexo, pode ser dividido em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese, e metanogênese, como mostra a FIGURA 3.

FIGURA 3 - PROCESSO ANAERÓBICO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS



FONTE: Adaptado de GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS: GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO, (2010).

A primeira etapa é a hidrólise, onde bactérias hidrolíticas decompõem o substrato por reações bioquímicas, transformando proteínas, carboidratos e lipídios em aminoácidos, açúcares e ácidos graxos (ROHSTOFFE, 2010). Segundo Deublein (2011) a etapa de hidrólise ocorre pela quebra das cadeias carbônicas de proteínas, lipídios e carboidratos para compostos mais simples como aminoácidos, açúcares glicerol e ácidos graxos. A hidrólise de materiais lignocelulósicos ocorre de forma lenta e incompleta quando comparada a outras substâncias orgânicas.

Na acidogênese, os produtos gerados no processo de hidrólise são convertidos em ácido acético, dióxido de carbono, ácidos graxos de cadeia curta, dentre outros compostos e são absorvidos pelas células das bactérias fermentativas

(KARAGIANNIDIS, 2012; FORESTI et al., 1999). Além disso formam-se pequenas quantidades de ácido lático e álcoois (ROHSTOFFE, 2010).

A transformação de ácidos graxos em ácido acético, liberando hidrogênio e dióxido carbônico é realizada na fase de acetogênese. Nesta etapa, têm-se os substratos para a produção do metano (KARAGIANNIDIS, 2012), ocorrendo a conversão dos compostos em precursores do gás por bactérias acetogênicas. Por razões energéticas a presença de hidrogênio é essencial, pois uma quantidade de hidrogênio muito elevada acabaria prejudicando o processo, uma vez que impede a conversão dos compostos intermediários da acidogênese. E com resultado da alta porcentagem de H_2 pode haver aumento da quantidade de ácidos orgânicos que inibem a metanogênese, como ácido propiônico, ácido isobutírico, ácido isovalérico e ácido capróico. Por esse motivo o processo das bactérias acetogênicas tem de estar associadas ao processo de metanogênese, o qual consome hidrogênio e dióxido de carbono (ROHSTOFFE, 2010).

A última fase visa a produção de metano (CH_4) por dois grupos de bactérias, um deles que produz metano pela conversão do ácido acético (bactérias acetotróficas) e outro que o produz a partir da conversão de hidrogênio e dióxido de carbono (bactérias hidrogenotróficas). Esta fase é denominada metanogênese (ABBASI et al., 2012).

De modo geral as quatro fases ocorrem paralelamente em um único estágio, no entanto, uma vez que as bactérias têm exigências diferentes para sobrevivência. Depois de todo o processo obtém-se diferentes produtos, os biofertilizantes, gás carbônico e o biogás, objeto de estudo, que pode vir a ser transformado em energia térmica, mecânica, elétrica ou combustível. Além do biogás tem-se o biofertilizante como produto deste processo. O mesmo apresenta compostos bioativos que resultam de compostos orgânicos de origem animal e vegetal após a biodigestão. Estes dois produtos permitem o aumento da produção agrícola, agregando valor às cadeias produtivas, organizando e garantindo uma fonte de energia renovável e de baixo custo (COSTA, 2012; QUADROS et al., 2010).

Além dos produtos citados ao final da biodigestão, deve-se também levar em consideração os créditos de carbono, uma vez que o processo diminui de forma expressiva a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para o ambiente (ROHSTOFFE, 2010; BARREIRA, 2011).

3.5 Fatores que afetam a Biodigestão

Diversos fatores podem afetar o processo de biodigestão, sendo os mais importantes deles a temperatura (CHEUNBARN e PAGILLA, 2000). Para Salomon (2007), as faixas de temperatura associadas ao crescimento microbiano são classificadas em: psicofílicas (45°C) mesofílicas ($20\text{-}40^{\circ}\text{C}$) e termofílicas ($>45^{\circ}\text{C}$). A temperatura ideal no processo de biodigestão para a produção de biogás com elevado teor de metano compreende a faixa mesófila entre 20 e 40°C , além de não requerer aquecimento ou resfriamento, podendo ser conduzida a temperatura ambiente buscando-se apenas manter as variações de temperatura preferencialmente inferiores a 3°C (BOND; TEMPLETON, 2011; PENG et al., 2013).

O Ph ideal para a biodigestão anaeróbia compreende $6,8$ a $7,5$, contudo, esta pode ocorrer de forma eficiente em faixa mais ampla (entre 6 e 8) (FORESTI, 1998). Moura (2012) afirma que em meios ácidos a atividade enzimática das bactérias é anulada em meio alcalino e a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. Mediante a isto, assume-se que os valores de pH próximos a neutralidade são os mais indicados para este tipo de digestão.

A relação entre carbono e nitrogênio também é fator relevante nos processos de digestão, salvo que todos os organismos vivos precisam de nitrogênio na síntese de proteínas. No entanto, esta proporção deve ser a mais próxima do ideal, caso contrário, as bactérias não serão capazes de consumir todo carbono presente no meio e o desempenho do processo será baixo (SGORLON et al., 2011). O valor ótimo para relação C/N está entre 20 e 30 (REICHERT, 2005).

3.6 Poder calorífico do biogás e finalidades

A característica mais importante para se avaliar o combustível é saber sua quantidade de energia por unidade de massa, denominado poder calorífico ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). O principal componente responsável pelo poder calorífico do biogás é o metano, quanto maior sua proporção maior é a quantidade de energia liberada na combustão do biogás. Conforme a quantidade de metano o biogás pode variar seu poder calorífico entre 5000 a $7000 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-3}$. Convertendo esse valor para a unidade de $\text{Kwh}\cdot\text{m}^{-3}$, temos um poder calorífico que varia de $5,2$ a $9,8 \text{ Kwh}\cdot\text{m}^{-3}$ quando tratado. O poder calorífico do biogás em média pode ser considerado $6 \text{ Kwh}\cdot\text{m}^{-3}$ (BARREIRA, 2011).

A Tabela 1, apresenta o potencial de 1m³ de biogás, quando comparado com outras fontes de energia mais utilizadas.

TABELA 1- EQUIVALÊNCIA DE 1m³ DE BIOGÁS PARA DIFERENTES FONTES DE ENERGIA

Fonte energética	1m ³ de biogás
Gasolina	0,61 litro
Diesel	0,55 litro
GLP	0,45 litro
Álcool	0,79 litro
Eletricidade	1,43 kw

FONTE: Barreira (2011).

Diversas alternativas podem ser exploradas a partir da energia gerada pelo biogás. Como exemplo pode ser utilizado para fazer funcionar motores, geradores, resfriadores de leite, aquecedores de água, geladeira, fogão, lampião, lança chamas, aquecedores para avicultura e suinocultura entre outros (BARREIRA, 2011).

Praticamente todo resto de animal ou vegetal é biomassa é capaz de fornecer biogás através do biodigestor. Os melhores dejetos são os de animais pelo fato de já saírem de seus intestinos carregados por bactérias anaeróbias. Na Tabela 2 são apresentados alguns exemplos de dejetos animais e sua capacidade de produzir biogás.

TABELA 2- PRODUÇÃO DE DEJETOS E DE BIOGÁS POR TIPO DE SETOR

Dejetos	Produção diária kg/animal	Produção de Biogás m ³ /tonelada
Bovinos	15	270
Suínos	2,25	560
Equinos	10	260
Ovinos	2,8	250
Aves	0,18	285

FONTE: Barreira (2011).

Assim, para produzir 1m³ de biogás, é necessário (TABELA 3).

TABELA 3- QUANTIDADE DE SUBSTRATO PARA CADA TIPO DE ATIVIDADE

Substrato	Quantidade (kg)
Esterco fresco de vaca	25
Esterco seco de galinha	5
Esterco de porco	12
Plantas ou cascas de cereais	25
Lixo orgânico	20

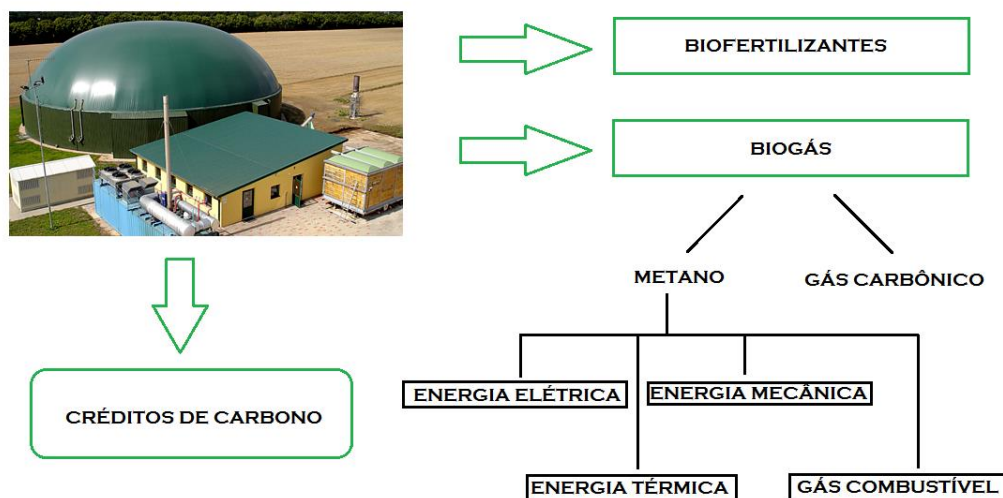
FONTE: Barreira (2011).

Conforme Santos e Lucas JR (2000) tem-se como exemplo a quantidade de biogás que poderiam ser obtidas a partir de 1000 frangos, bem como o equivalente em GLP (30 m³ de biogás igual a 13 kg de GLP). Por 1000 aves produzidas pode-se obter, em média, o equivalente à aproximadamente 10 botijões com 13 kg de GLP.

3.5 Biodigestor

O biodigestor é equipamento que funciona como central tecnológica para produção de biogás a partir da decomposição da biomassa, é onde tudo ocorre, sendo sua construção e tipo de extrema importância para o sucesso do processo (FIGURA 4). Além de produzir biogás, limpa os resíduos de diferentes fontes e gera biofertilizantes. É considerado por alguns um poço de petróleo, uma usina de tratamento e uma fábrica de fertilizantes (BARREIRA, 2011).

FIGURA 4 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR



Fonte: O autor (2016).

O biodigestor pode variar de acordo com o substrato utilizado, a quantidade de biogás que se deseja produzir, e o espaço necessário para sua instalação. O tipo de biodigestor adotado está intimamente ligado ao seu processo de fermentação ou na digestão de substrato (BARREIRA, 2011).

Os biodigestores podem ser separados dependendo do regime de alimentação aos quais são empregados, que dependem exclusivamente da quantidade e tipo de substrato utilizado, impactando diretamente a produção de gás. A alimentação dos biodigestores pode ser diferenciada em contínua, semi-contínua e descontínua. A primeira consiste em adicionar substratos com pequenos intervalos de tempo (dias, horas, minutos ou segundos), já a segunda consiste em alimentar o biodigestor por cargas, processo utilizado quando não se tem substratos suficientes para produção em massa, quando a exigência de gás não é grande o suficiente para uma demanda diária, ou quando necessita de pré-tratamentos para iniciar o processo de biodigestão (MACHADO, 2013).

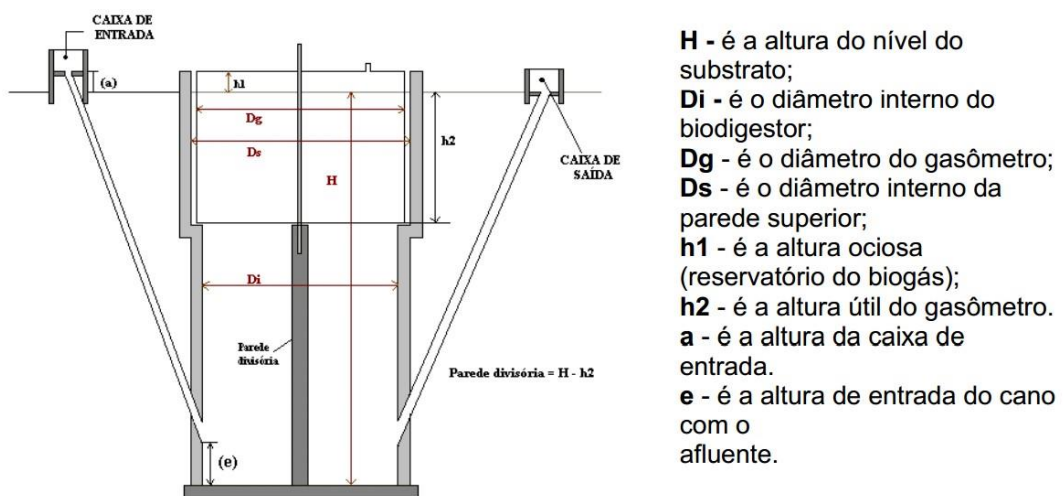
Os biodigestores podem ser classificados em diferentes tipos, sendo os mais utilizados no Brasil, o biodigestor Indiano e o Canadense.

- Biodigestor Indiano

É formado por uma câmara submersa com a função de fazer a biodigestão do substrato, possui um depósito de gás móvel, caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro. Esta campânula flutua diretamente sobre o lodo em digestão. Como o reservatório do gás é móvel, à medida que a produção de gás é maior que o consumo, este se desloca verticalmente, aumentando o espaço disponível para armazenamento do gás e mantendo uniforme a pressão. No interior do biodigestor existe uma parede divisória, fazendo com que o material circule dentro da câmara, otimizando o processo de fermentação (MACHADO, 2013).

Esse biodigestor apresenta um alto custo de construção, devido a necessidade da campânula, geralmente metálica que entra em corrosão diminuindo sua vida útil, em média de 5 ano. Por isso o biodigestor Indiano acarreta em custos de manutenção, como pintura periódica da campânula. O Substrato utilizado deve ter consistência líquida, com teor de sólidos não passando de 8%, facilitando a movimentação do substrato no interior da câmara. Comumente utiliza-se dejetos bovinos e/ou suínos, facilitando o processo. A construção pode ser subterrânea, ocupa pouco espaço, e apresenta formato de um poço (MACHADO, 2013; BARREIRA, 2011) (FIGURA 5).

FIGURA 5 - BIODIGESTOR INDIANO



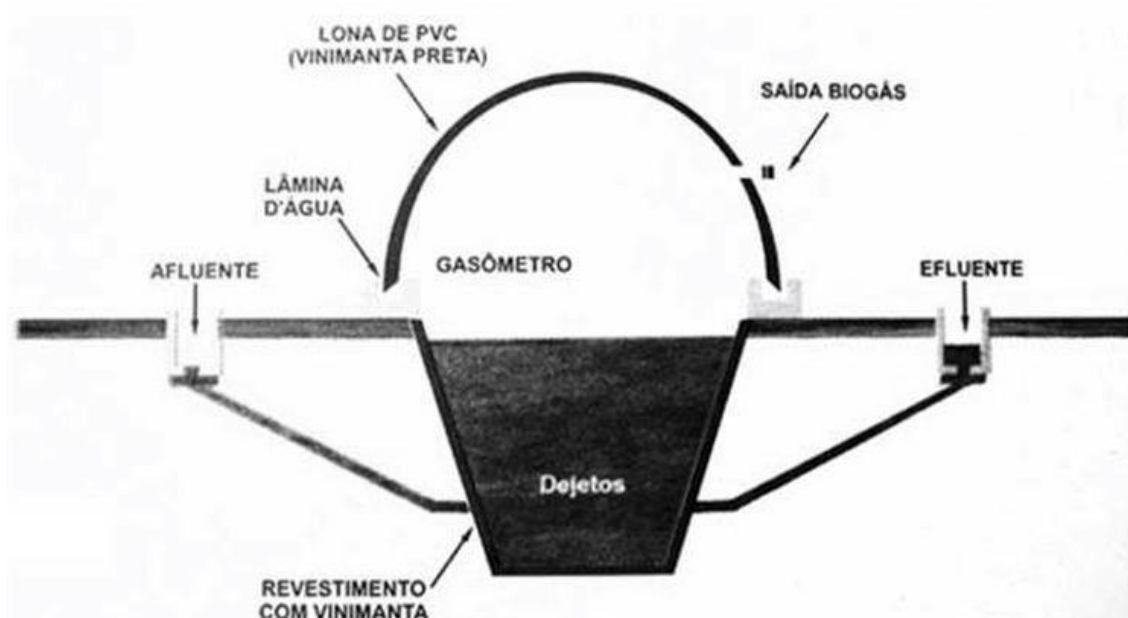
FONTE: PRS (2013).

- Biodigestor Canadense

O Biodigestor Canadense também pode ser chamado de biodigestor da marinha é caracterizado por possuir uma base retangular, com largura maior que a profundidade, causando uma maior exposição do substrato ao sol, aquecendo a área de decomposição, acelerando o tempo de decomposição. O gasômetro é feito por uma manta flexível de PVC, possui um custo relativamente alto, porém mais fácil é sua limpeza. Conforme existe produção de biogás ele infla, podendo armazenar gás conforme sua produção. Pode ser construído abaixo ou não da terra, sendo sua utilização em áreas mais quentes, visto que com sua maior extensão o material fica mais exposto ao sol (MACHADO, 2013; BARREIRA, 2011).

É amplamente utilizado em áreas rurais, onde se tem um maior espaço para construção. Como o biogás pode ser enviado para outro gasômetro pode existir um controle maior da produção. Embora seja de fácil construção (FIGURA 6) tem menor durabilidade, uma vez que a lona de PVC pode perfurar e deixar o gás escapar (MACHADO, 2013).

FIGURA 6 - BIODIGESTOR CANADENSE



FONTE: PRS (2013).

3.6 Substrato

Todos os tipos de biomassa podem ser utilizados como substrato para produção de biogás, desde que contenham carboidratos, proteínas, lipídios, celulose e hemicelulose nos seus componentes principais. A quantidade de metano na composição do biogás, depende do tipo do substrato, do sistema de biodigestão e do tempo de retenção no biodigestor (BRAUN, 2007). O rendimento teórico em gás varia com o conteúdo de carboidratos, proteínas e gorduras (TABELA 4). Apenas substâncias orgânicas lignificadas, por exemplo, a madeira não são adequados devido ao processo lentamente anaeróbio de decomposição. O teor real de metano na prática é geralmente superior aos valores teóricos apresentados Tabela 1 porque uma parte de CO₂ é solubilizada na digestão (WEILAND, 2010).

TABELA 4 - RENDIMENTO MÁXIMO DE METANO E DIÓXIDO DE CARBONO TEÓRICOS

Substrato	Biogás Nm³/ t TS	CH₄ (%)	CO₂ (%)
Carboidratos	790 - 800	50	50
Proteína pura	700	70 - 71	29 - 30
Lipídeos	1200 - 1250	67 - 68	32 - 33
Lignina	0	0	0

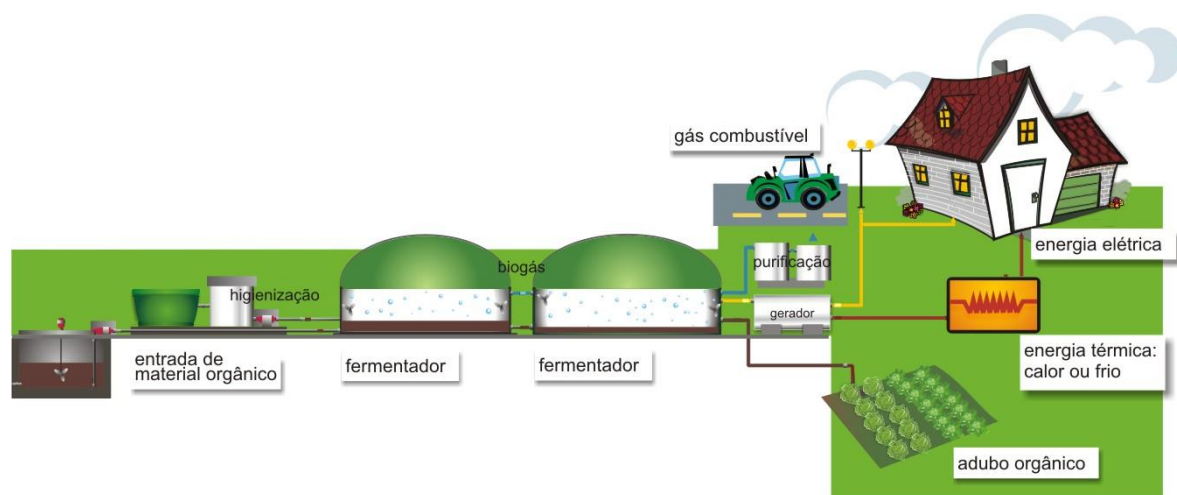
FONTE: BASERGA (1998).

Segundo Machado (2013) a quantidade máxima de produção de biogás de um substrato é determinada em primeira linha por sua composição química por exemplo as quantidades de carboidratos, proteínas e gorduras. Desta forma definimos como Potencial Químico de geração de biogás, a quantidade máxima de produção de biogás a ser obtida de um substrato levando em consideração unicamente a composição química desse substrato.

3.7 Resumo da cadeia produtiva do biogás

Após apresentar informações sobre os três pontos chave para a decomposição anaeróbia de resíduos, pode-se fazer uma esquematização de como é produzido o biogás, desde a coleta do substrato até seu estado final, tendo como produto a energia e biofertilizantes (FIGURA 7).

FIGURA 7: CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS

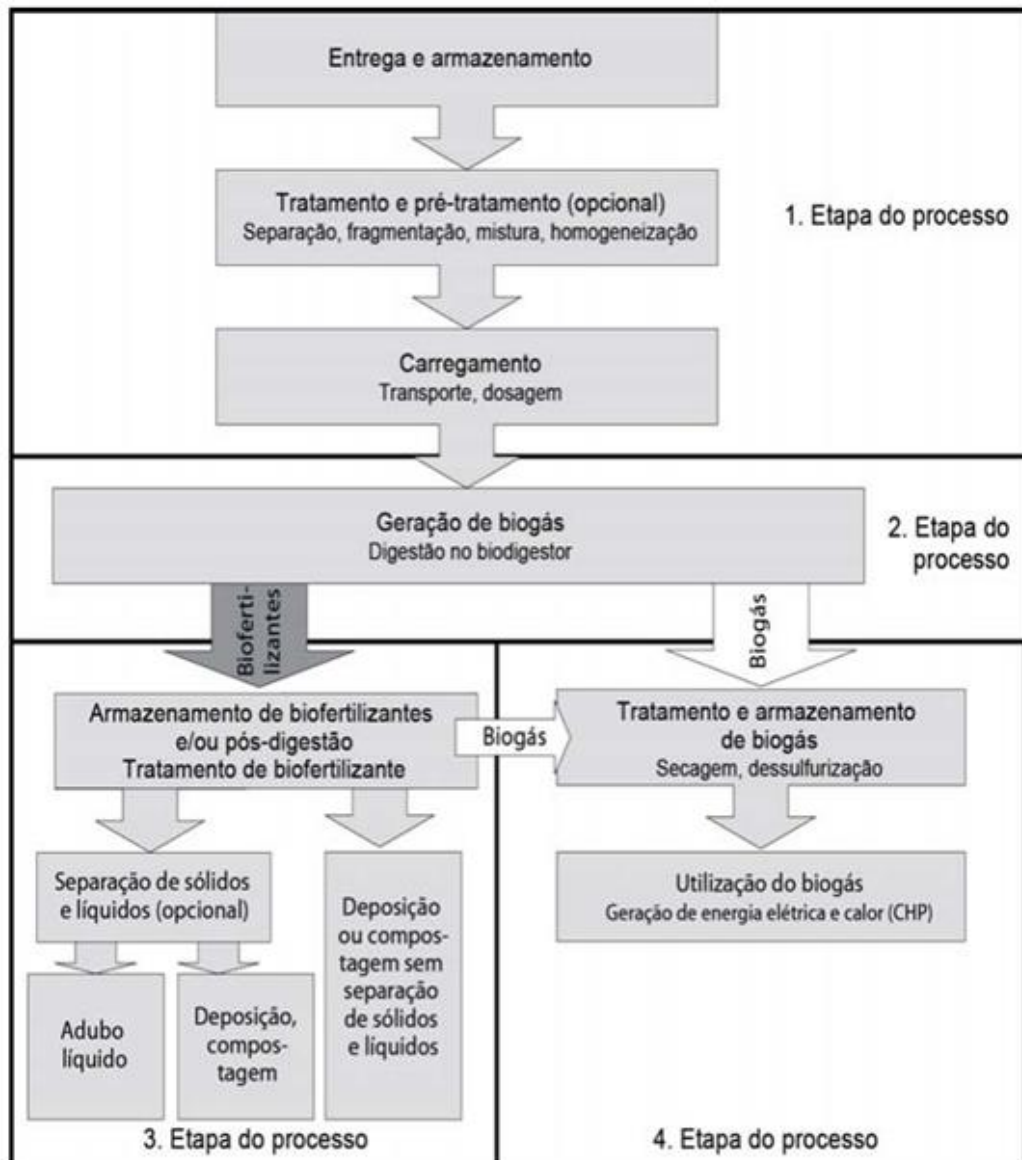


FONTE: Machado (2015).

De forma geral a produção de biogás segue as seguintes etapas, como mostrado na FIGURA 8.

1. Substrato (Entrega, armazenamento, tratamento, transporte e carregamento).
2. Geração de biogás
3. Armazenamento, preparação e deposição de biofertilizantes
4. Armazenamento, purificação e utilização do biogás.

FIGURA 8 - DIAGRAMA BÁSICO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS



FONTE: PRS (2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma pesquisa bibliográfica a respeito do Biogás. Os dados utilizados para definição, revisão e comparação foram coletados a partir de materiais já publicados, como artigos, livros, revistas científicas, informações de empresas particulares e consultas na Internet.

A partir da coleta de informações foi realizada a descrição de todo o processo, bem como a avaliação de diferentes substratos e diferentes biodigestores. Por fim uma comparação entre o que é produzido de biogás no Paraná atualmente e o potencial de produção total do estado, incluindo os resíduos florestais.

4.1 Coleta de dados

Os dados a respeito dos biodigestores já instalados foram levantados a partir do biogasmapp, ferramenta desenvolvida pelo CIBiogásER, instituição científica que desenvolve e apoia projetos de energias renováveis. A partir do biogasmapp foram filtrados os dados referentes aos biodigestores instalados no Paraná, sua produção diária de biogás e substratos utilizados. Com esses dados foi elaborada uma tabela, constando todos os biodigestores em funcionamento no estado. Foram considerados apenas os biodigestores cadastrados pelo CIBiogásER (Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás) e pelo CIH (Centro Internacional de Hidroinformática) com o apoio e financiamento do PROBIOGÁS (Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, 2016).

4.2 Fórmulas de cálculos para potencial de biogás

Os dados de potencial de produção de biogás para o Paraná foram coletados a partir de informações disponíveis sobre a quantidade de matéria orgânica em cada setor do estado, e multiplicando esse valor com o potencial de produção de biogás de cada resíduo, como mostram as Equações 1, 2 e 3, adaptadas do caderno Oportunidade da cadeia produtiva de Biogás para o estado do Paraná, realizado pelo FIEP e SENAI/PR com apoio do CIBiogásER e Probiogás tendo como ano base 2016.

$$PTi * Fcr = Rt \quad (1)$$

$$Rt * Cb = PTB \quad (2)$$

$$PTB * f = PkWh \quad (3)$$

Onde:

PTi = Produção total de produto "i"

Fcr = Fator de conversão do produto em resíduos

Rt = Resíduos totais da produção

Cb = Conversão dos resíduos em biogás (m³)

PTB = Potencial total da produção de biogás (m³)

f = Fator de conversão do biogás em energia elétrica = 1,43.

PkWh = Potencial elétrico em kWh

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Potencial energético de substratos no estado do Paraná

Abaixo serão listados diferentes tipos de resíduos que podem ser utilizados como substratos para produção de biogás, com ênfase nas possibilidades para o estado do Paraná:

- Setor da agropecuária

Nesse setor as fontes de matéria orgânica disponíveis para produção de biogás podem ser separadas entre vegetais não lenhosos e pecuária. Na TABELA 5 são descritos os potenciais de produção de biogás a partir de vegetais não lenhosos.

TABELA 5 - POTENCIAL DOS RESÍDUOS VEGETAIS NÃO LENHOSOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Espécie Vegetal	Produção total do estado (ton.)	Potencial energético para 1 ton. (kWh)	Potencial energético total (GWh)
Cana-de-açúcar	49.257.215	2,40	118,21
Milho	13.894.058	6,98	97,004
Soja	12.339.419	5,67	70,060
Mandioca	3.808.476	6,12	23,342
Total	79.299.168	-	308,623

NOTA: Valores de dados relativos a um ano.

FONTE: IBGE (2012)

Nota-se na TABELA 5 que o resíduo do milho apresenta um potencial energético (kWh/ton) superior ao demais resíduos. Apesar disso, o Paraná tem a maior capacidade de produzir biogás a partir de resíduos de cana-de-açúcar, pois a sua produção total é quase cinco vezes maior que a de milho. Isso pode ser justificado pelo fato de que o milho apresenta um fator de conversão de resíduos da produção (tonelada/tonelada) de 1,42, isso quer dizer que a cada uma tonelada da produção de milho tem-se 1,42 toneladas de resíduos (SOUSA; SORDILL, 2002). O resíduo da industrialização do milho é composto por sabugos, palhas, pontas de espigas e espigas refugadas. Vale notar que o resíduo a ser abordado nesse texto se refere aos resíduos obtidos na colheita do milho (HENRIQUE; BOSE, 1995). Em contrapartida a cana-de-açúcar, apesar de ter uma maior produção e plantios no Paraná, ela

apresenta um menor fato de conversão na produção de resíduos (ton/ton), de 0,54, ou seja, para cada tonelada de cana-de-açúcar produzida tem-se 0,54 toneladas de resíduos (SOUSA; SORDILL, 2002).

Já na TABELA 6 temos o potencial de produção de biogás para resíduos da pecuária no estado (SENAI/PR, 2016).

TABELA 6 - POTENCIAL DOS RESÍDUOS DA PECUÁRIA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Espécie Animal	Efetivo Rebanho (n° animais)	Produção diária de dejetos (kg)	Potencial energético/animal (kWh)	Potencial energético total anual (GWh)
Aves	232.754.476	34.913.171	3,90	911,15
Suínos	5.518.927	12.969.478	96,89	534,78
Vacas ordenhadas	1.615.916	20.198.950	247,81	400,63
Total	-	68.081.599	-	

NOTA: Valores de dados relativos a um ano.

FONTE: IBGE (2012).

Observa-se na TABELA 6 que o maior potencial energético é proveniente da criação de Aves, devido ao maior número efetivo desses rebanhos, porém os resíduos das vacas ordenhadas apresentam um potencial energético maior por animal. Isso pode ser justificado pela maior quantidade de dejetos por cabeça de animal (OLIVEIRA, 1993). Para fins de comparação, a quantidade de dejetos produzidas pelas aves, segundo Oliveira (1993) é de 0,15 kg/cabeça*dia, já a produção de dejetos das vacas ordenhadas é de 12,5 kg/cabeça*dia, ou seja, em torno de 83 vezes maior que a as aves.

O setor industrial também participa expressivamente da produção de resíduos, sejam eles de diferentes fontes, tipos e quantidades. A partir desses resíduos também foi elaborado um potencial de produção de biogás para o estado do Paraná, como mostra a TABELA 7 para os resíduos das indústrias de álcool e açúcar, biodiesel, laticínios, fecularia, cítricos, cervejarias e microcervejarias, abatedouros e frigoríficos, e papel e celulose (SENAI/PR, 2016).

- Setor Industrial e agroindustrial

TABLEA 7- POTENCIAL DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Produto	Produção total do estado/ ano	Potencial energético por unidade de produção (kWh)	Potencial energético total anual (GWh)
Etanol (m ³)	1.471.320	163,02	239,9
Biodiesel (m ³)	120.110,9	35,74	4,29
Produção queijo (ton)	7.568	146,39	1,11
Mandioca (ton)	374.336,09	1,93	0,72
Laranja (ton)	913.214	9,1	8,31
Produção de cerveja (litro)	306.306.000.000,00	0,027	8281,04
Papel e Celulose (ton)	3.153.000,00	212,54	670,16
Total	-	-	9.905,53

NOTA: cada produto corresponde tem sua respectiva unidade, litro, m³ e tonelada.

Nota-se na TABELA 7 que os resíduos provenientes de cervejarias são os que representam o maior potencial energético total para o estado do Paraná na produção de biogás, devido à grande produção de litros por ano, gerando grande quantidade de resíduos, em uma proporção de 0,16 kg de biomassa para cada litro de cerveja produzido. O principal resíduo da produção da cerveja é o resíduo úmido cervejeiro (RUC), que pode também ser utilizado para alimentação animal. Porém, existe a possibilidade de converter em gás os restos de malte, lúpulo e levedura, principais ingredientes da cerveja (SENAI, 2016).

Ainda pode-se observar que a indústria de papel e celulose apresenta maior potencial de produção em kWh por unidade produzida, isso pode ser justificado devido ao fator de conversão do papel e celulose em resíduos, que é 162 m³ para cada tonelada produzida (ROSENWINKEL; AUSTERMANN-HAUN; MEYER, 2005), ou seja, que apesar da indústria de papel e celulose ter uma produção total menor que as cervejarias, essa apresenta um grande potencial energético, nesse cenário dos resíduos industriais.

A produção de biogás a partir de resíduos urbanos também se mostra viável, levando-se em conta o aumento da população e dos resíduos criados por elas, a necessidade de dar um destino mais sustentável é uma opção adequada e possível a partir dos biodigestores. A Tabela 5 mostra o potencial da produção de biogás desses resíduos (SENAI/PR, 2016).

TABELA 8 - POTENCIAL DOS RESÍDUOS URBANOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Resíduos Urbanos	População urbana 2010	Potencial energético por unidade de produção (kWh)	Potencial energético total anual (GWh)
Esgoto	8.912.692	3,17	28,28
Resíduos sólidos urbanos	8.912.692	38,93	346,97
Resíduos Urbanos da arborização	Produção de resíduos (t)	Potencial energético por unidade de produção (kWh)	Potencial energético total anual (GWh)
Varrição e poda	1.143.654,5	250,25	286,2

Quanto aos resíduos urbanos (TABELA 8), observa-se que o maior potencial de produção energética total é proveniente de resíduos urbanos sólidos, isso pode ser justificado pelo potencial energético por unidade de produção, onde os resíduos sólidos urbanos são em média 12 vezes maior que os resíduos do esgoto (COSTA, 2006; FEAM, 2012). O fator de conversão dos resíduos sólidos urbanos, é de 0,76 kg/habitante*dia, já a produção de esgoto é de 0,16 m³/habitante*dia (ABRELP, 2014; PIVELI, 2013).

Os resíduos de varrição e poda também apresentam grande potencial de produção de energia por tonelada, partindo de um fator de conversão de resíduos verdes em biogás de 175 m³/ tonelada (GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS, 2010), resultando assim em potencial anula de 286,2 GWh.

5.2 Biodigestores no Paraná

O Paraná é o estado com o maior número de biodigestores instalados e funcionando no País. Com um total de 131 biodigestores no Brasil, o estado tem 49 biodigestores, representando 37% do total do país, além de outros quatro sendo construídos atualmente. A produção média diária do estado é de 265.000 m³ de biogás, representando cerca de 378.950 kWh/dia, quando utilizado o fator de conversão de 1,43 kWh por m³ de biogás (CIBiogás, 2016). Essa energia gerada nem sempre é utilizada como energia elétrica. Os biodigestores funcionam com oito diferentes tipos de substratos, variando da suinocultura até esgoto, onde são classificados diferentes biodigestores no estado, sua produção, substrato utilizado,

localização e finalidade, como mostram as TABELAS 9, 10 e 11 (Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, 2016).

TABELA 9 - BIODIGESTORES NO PARANÁ – SUBSTRATOS MENOS RECORRENTES

Localização	Substrato	Produção Biogás/dia (m³)	Finalidade
Medianeira	Abatedouro de Aves e Suínos	2400	Térmica
Matelândia	Abatedouro de Aves e Suínos	1700	Térmica
Cascavel	Aterro Sanitário	2400	Elétrica
Vera Cruz do Oeste	Bovinocultura de leite ou corte	1440	Elétrica
Mariluz	Bovinocultura de leite ou corte	99	Térmica
Castro	Codigestão	1000	Térmica/ Elétrica
São Roque	Codigestão	1000	Biometano/GNV
Marechal Cândido Rondon	Codigestão	820	Térmica, Elétrica Biometano/GNV
Foz do Iguaçu	Codigestão	520	Biometano/GNV
Campina da Lagoa	Codigestão	275	Térmica/ Elétrica Mecânica
Foz do Iguaçu	Esgoto	50	Elétrica
Tamboara	Indústria sucroenergética	4000	Elétrica

TABELA 10 - BIODIGESTORES NO PARANÁ – SUBSTRATO DE INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS E BEBIDAS, COM FINALIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

Localização	Produção Biogás (m³)/dia
Brasilândia do Sul	20000
Icaraíma	16650
Terra Roxa	15000
Amaporã	14800
Maringá	14400
Altônia	14000
Missal	12950
Nova Londrina	12950
Planaltina do Paraná	12000
Graciosa	11100
Nova Esperança	11100
Novo Três Passos	10800
Guaira	7400
Paranavaí	7400
Santa Cruz do Monte Castelo	7400
São Tomé	7400
Nova Santa Rosa	6600
São Lourenço	3750
Assis Chateaubriand	3000
Maringá	2280
Araruana	2000

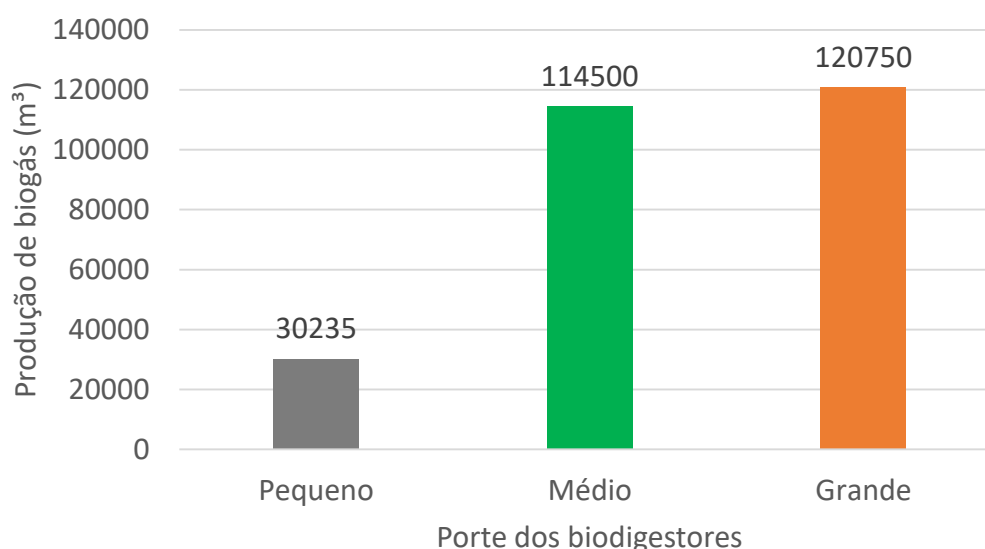
TABELA 11 - BIODIGESTORES NO PARANÁ – SUBSTRATO DA SUINOCULTURA

Localização	Produção Biogás (m³)/ dia	Finalidade
Entre Rios do Oeste	10000	Elétrica
Toledo	4700	Elétrica e Mecânica
Quatro Pontes	4393	Térmica e Mecânica
Entre Rios do Oeste	3457	Elétrica
Ouro Verde do Oeste	2000	Elétrica
São Miguel do Oeste	1729	Elétrica
Itaipulândia	1450	Elétrica
Toledo	1373	Elétrica
Cascavel	1200	Elétrica
Entre Rios do Oeste	1025	Elétrica
Serranópolis do Iguaçu	1000	Elétrica
Entre Rios do Oeste	750	Elétrica
São Miguel do Iguaçu	750	Elétrica

Marechal Cândido Rondon	700	Elétrica
Irati	570	Elétrica
Entre Rios do Oeste	516	Elétrica
Maripá	500	Térmica e Elétrica
Vila Nova	300	Térmica
São José das Palmeiras	194	Elétrica
Vila Nova	194	Mecânica

A FIGURA 9 mostra a que os biodigestores foram classificados em pequeno, médio e grande porte, sendo classificados como pequeno os que produzem de 50 á 2400 m³; médio porte os que produzem de 3000 á 12000 m³; grande porte os que produzem de 12000 á 20000 m³ de biogás.

FIGURA 9 - BIODIGESTORES POR PORTE E PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO PARANÁ



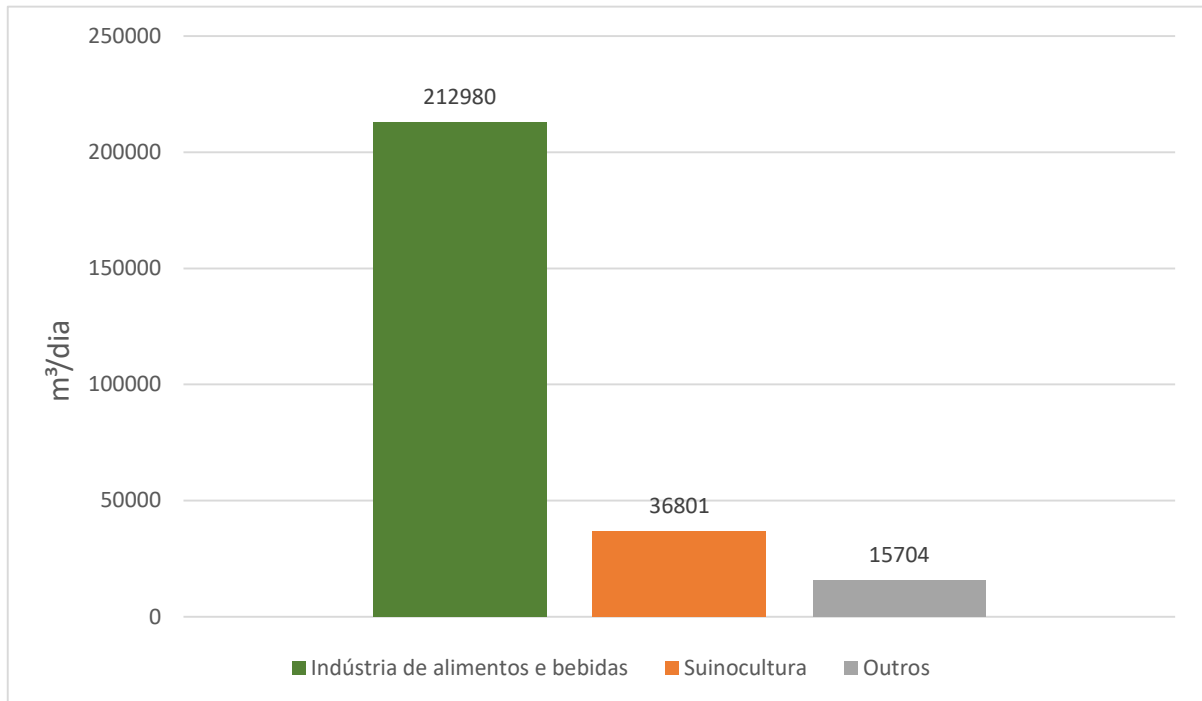
FONTE: o autor (2016).

O estado do Paraná apresenta 26 biodigestores de pequeno porte, 15 de médio porte e 8 de grande porte. Mesmo com quase o dobro de biodigestores de médio porte, os de grande porte produzem mais biogás, pois possuem maior capacidade produtiva instalada, e na sua maioria são instalados dentro de empresas privadas que contribuem com essa proporção (CIBiogás, 2016).

A partir das TABELAS 12, 13 e 17 apresentadas anteriormente, pode-se observar que a maior produção de biogás corresponde os biodigestores que utilizam

como substrato os resíduos da indústria de alimentos e bebidas, seguido dos biodigestores que utilizam resíduos da pecuária e por fim os outros resíduos diferentes fontes menos recorrentes tem sua representatividade, como mostra a FIGURA 10.

FIGURA 17- PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR SUBSTRATO NO PARANÁ (m³/dia)



FONTE: O autor, (2016).

Analisando a Figura 17, e os dados obtidos, pode-se fazer uma comparação da quantidade produzida e o potencial de biogás no estado. Se o potencial teórico dos resíduos totais do estado fosse aproveitado ao seu máximo, seria capaz de produzir cerca de 12 mil GWh/ ano de energia elétrica. Atualmente a produção no Paraná alcança cerca de 136 GWh/ ano de energia elétrica, ou seja 1,13 % da sua capacidade teórica total. Deve-se ressaltar que desse total (12000 GWh/ano), 8.281,04 GWh são provenientes do potencial das indústrias de cervejarias, dos quais não foram encontrados dados sobre produção de biogás utilizando resíduos de cerveja (BRASIL, 2015). Portanto não inserindo a indústria de cervejarias no cálculo de produção de energia proveniente de biogás, esse valor seria de 3,66%, tal valor ainda possui uma baixa representatividade em comparação ao seu potencial total. Isso pode ser justificado pela falta de tecnologias e conhecimento disponíveis no setor da geração de energia a partir do biogás.

5.3 Biomassa Lignocelulósica

A biomassa lignocelulósica inclui culturas energéticas, resíduos agrícolas florestais e a fração orgânica de resíduos urbanos. Esta última despertou interesse como matéria prima para o processo de biodigestão anaeróbia recentemente, devido à alta demanda de energia e grande disponibilidade de biomassa (MONTONERI, 2009).

O Brasil detém a terceira maior produção de milho do planeta e é responsável por mais da metade do açúcar comercializado em todo o mundo, além de apresentar intensa produção de madeira. Todas as cadeias produtivas mencionadas geram elevadas quantidades de resíduos lignocelulósicos provenientes de bagaço, cascas e palhadas, como o café, em que 60% do peso bruto da semente corresponde a cascas (DELFIOL et al., 2012). Estes resíduos apresentam-se como potenciais produtores de bioenergia.

A lignocelulose é o principal recurso a ser empregado futuramente para a produção de energia, devido sua altíssima abundância e presença generalizada em resíduos agroindustriais e florestais. Na produção de etanol, por exemplo, grande parte de sua massa é composta de bagaço e palha que não são aproveitadas de forma otimizada nas indústrias (SAGULA, 2012).

A composição química dos resíduos florestais é muito complexa, visto que seus componentes são constituídos de maneira desuniforme como resultado de sua estrutura (BROWNING, 1963). O principal componente da parede celular dos vegetais é a celulose, sendo o mais abundante composto orgânico encontrado na natureza. Além deste, a hemicelulose compõe parte da madeira e está sempre associada à lignina e celulose.

O empecilho nos processos de geração de energia que empregam micro-organismos ocorre pela difícil degradabilidade destes compostos, visto que normalmente necessitam de pré-tratamentos termoquímicos e sacarificação enzimática, ambos de elevado custo (SOUSA et al., 2009)

Os procedimentos de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos podem ser realizados a partir de ácidos, bases, vapor, ou até mesmo a partir da combinação entre eles. Dentre os vários métodos de pré-tratamento, os mais utilizados são Expansão da fibra em amônia (AFEX), hidrólise, Processo em Separado de Sacarificação (SHF)

e Fermentação Simultâneas (SSF). Tal procedimento separa a lignina da celulose e hemicelulose, deixando-os disponíveis para a biodigestão (SUN; CHENG, 2005).

5.4 Resíduos gerados no setor Florestal

Anualmente, são gerados no Brasil aproximadamente 41 milhões de toneladas de resíduos madeireiros provindos da indústria de processamento de madeira e da colheita florestal, capazes de impulsionar um montante energético equivalente a 1,7 GWh/ano, por meio de queima direta (ABRAF, 2013). As regiões Sul e Sudeste possuem as maiores potencialidades nesse cenário, devido à alta concentração de plantios florestais. No que diz respeito à indústria de papel e celulose, o Brasil gera aproximadamente 5 Mtep (Milhão de tonelada equivalente de petróleo) de resíduos, que não possuem aproveitamento energético significativo. Uma parcela ponderável deles permanece no campo, na forma de galhadas e restos de tronco, após o corte das árvores (BIODISEL BRASIL, 2014).

É importante ressaltar que os resíduos florestais não podem ser usados isoladamente no processo de biodigestão, no entanto podem ser adicionados a materiais de mais fácil degradação, servindo de suporte e material estruturante (DRRR, 2011). A natureza lignocelulósica deles muitas vezes exige etapas de pré-tratamentos que são de alto custo, além do tempo de degradação muito alto, inviabilizando a sua utilização para produção de biogás. Por isso os resíduos florestais são mais utilizados como compostagem para o substrato (SENAI/PR, 2016).

Apesar disso, o tratamento de resíduos pode ocorrer por compostagem, que é o conjunto de técnicas aplicadas para estimular a decomposição de matéria orgânicos por organismos heterótrofos aeróbios, com a finalidade de obter em um menor tempo possível, um substrato com potencial que proporcione posteriormente a possível biodigestão para obtenção do biogás (SENAI/PR, 2016).

5.5 Produção de Biogás no setor florestal

O licor negro é uma solução aquosa complexa constituída de vários componentes orgânicos (lignina, polissacarídeos, composto resinosos de baixa massa molar) e inorgânicos (principalmente de íons de sais solúveis) (CARDOSO,

2006). É também definido como a etapa ou resíduo do cozimento do processo Kraft, na produção de papel e celulose.

Assim por sua vez, esse resíduo pode ter um destino mais adequado. Segundo pesquisa do Probiogás, o licor tem potencial de produção de 670 GWh/ano no Paraná, porém não existem empresas que atuam com essa tecnologia para o tratamento desse resíduo. A partir dessa tecnologia, o licor negro poderia contribuir não só para energia térmica, mas também produzir energia elétrica, gás natural e óleo combustível. Além disso, a obtenção de energia térmica proveniente da incineração dos compostos orgânicos contidos no licor negro via queima na caldeira de recuperação, visa reduzir o consumo energético, tornando menores os custos de produção. A inexistência de um sistema de recuperação neste processo, e a consequente descarga do licor negro em rios significariam desperdiçar combustível e reagentes, além de provocar poluição do meio ambiente (MORAIS et al., 2000). Por esses motivos deve-se aproveitar o licor negro de diferentes formas, tanto na queima direta como citado anteriormente, mas também na produção do biogás, viabilizando aumentar a produção e diminuir a produção. Porém trabalhos técnicos sobre uso do licor negro na produção de biogás, ainda são carentes na literatura.

Outra fonte potencial para produção de biogás a partir de resíduos florestais seriam os resíduos de varrição e poda realizado nas cidades do estado, que somando podem gerar, segundo pesquisa do Probiogás, 286 GWh/ano de energia (SENAI/PR, 2016).

6 CONCLUSÕES

- O Paraná é o estado que apresenta a maior número de biodigestores no Brasil;
- A indústria de alimentos e suinocultura são as principais fontes de substrato;
- Devido ao potencial florestal do estado do Paraná, os resíduos florestais podem ser uma alternativa viável, porém existe necessidade de maiores estudos científicos.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se estudos sobre a produção de biogás a partir de resíduos florestais misturados a outro material orgânico, obtendo dados para análise da viabilidade. Além destes, testes com o licor negro proveniente da indústria de papel também se encaixam em um estudo no ramo florestal, visto que dados sobre a formação de biogás a partir destes resíduos são muito escassos.

Além dos levantamentos sobre produção deve-se também ser feito uma análise econômica do biogás que utilizam resíduos florestais como compostagem, uma vez que não seja viável economicamente o processo não gera interesse, devido a isto a análise econômica é essencial para uma pesquisa completa.

São necessários estudos sobre políticas de utilização do biogás, como recomendações, restrições, tendências futuras e legislação. Também é necessário que existam pesquisas de possíveis efeitos negativos causados pela produção de biogás.

REFERÊNCIAS

A Jorge de Lucas Jr. Tânia M.B. Santos. PROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA AVÍCOLA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS Depto. de Engenharia Rural UNESP, Jabotical, SP 2-5

ABBASI, T.; et al. Biogas Energy. 1st ed. New York, USA: Springer, 2012.

AGEB - Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. Energieverbrauch mit leichtem Zuwachs, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013. Publicado em: 2014. Disponível em: Acesso em: nov. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF. Publicado em: 2013. Disponível em: . Acesso em: out. 2014.

BARREIRA, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. Ícone, 2011.

BIODIESEL BRASIL. Resíduo de madeira: energia. Publicado em: 2006. Disponível em: Acesso em: mar. 2014.

BOND, T.; TEMPLETON, M.R. History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development, v.15, n.4, p.347-354. 2011.

Braun R (2007) 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 pp. 335–415.

BROWNING, B.L. The Chemistry of wood. New York, John Wiley & Sons, 1963. 689p.

Canal Jornal do Biogás – O Potencial da produção de biogás, 2016.

Cardoso G., Fabricação de Celulose, Ed: Senai, Curitiba – PR, Vol 1, 2006.

CHEUNBARN, T.; PAGILLA, K. R. Anaerobic thermophilic/ mesophilic dual-stage sludge treatment. Environmental Engineering, v.126, p.796–801. 2000.

CIBiogasER, Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás, BiogasMap. Disponível em <https://cibiogas.org/biogasmap>. Acesso em: out. 2016..

COSTA, D. F. Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto. Dissertação (Mestrado em Energia) 2006 – Universidade Federal de São Paulo (USP).

COSTA, L.V.C.; Produção de Biogás Utilizando Cama de Frango Diluída em Água e em Biofertilizante de Dejetos de Suínos. 2012. 90f. Tese (Doutorado Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp. Botucatu – SP.

DELFIOL, D.J.Z.; OLIVEIRA-FILHO, J.P.; CASALECCHI, F.L.; KIEVITSBOSCH, T.; HUSSNI, C.A.; RIET-CORREA, F.; ARAUJO-JR, J.P.; BORGES, A.S. Equine poisoning by coffee husk (*Coffea arabica* L.). *BMC Veterinary Research*, v.8, n.4, p1-8. 2012.

DEPARTMENT OF RESOURCES RECYCLING AND RECOVERY (DRRR). Statewide Anaerobic Digester Facilities for the Treatment of Municipal Organic Solid Waste. Draft Program Environmental Impact Report. Publicado em: 2011. Disponível em: . Acesso em: jul. 2014.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from waste and renewable resources: an Introduction. 2nd edition. Germany: Wiley VCH. 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional, 2015.

FERREIRA, Y.F.; LEÃO, K.P.; CASSANO, F.A.; OLIVEIRA, L.H. Biodiesel: potencializador da performance brasileira no mercado energético internacional. *Revista Jovens Pesquisadores*, v.3, n.2, p.55-70. 2006.

FORESTI, E. Notas da aula de Processos e Operações em Tratamento de Resíduos SHS- 705. Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento na Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 1998.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEI, A.V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P.F.F. Fundamentos do Tratamento Anaeróbico. In.: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbico e Disposição Controlada no Solo. 1ª ed. Rio de Janeiro: RiMa Artes e Textos, p. 29-52. 1999.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Guia de Orientações para Governos Municipais de Minas Gerais. Publicado em: 2012. Disponível em: http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/aproveitamento_20energ_c3_a9tico.pdf>. Acesso em: set. 2015.

HENRIQUE, W. e BOSE, M.L.V. Milho e sorgo. *In: Simpósio sobre nutrição de bovinos.*, p. 229-258, 1995.

IEA – International Energy Agency. World Energy Outlook 2013.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewable Power Generation Costs in 2014: An Overview. Emirados Árabes, 2015. Disponível em: . Acesso em: nov. 2016.

KARAGIANNIDIS, A. Waste to Energy: opportunities and challenges for developing and transition economies. 1st ed., London: Springer. 2012.

MACHADO, G. Portal do biogás. Disponível em < <http://www.portaldobiogas.com/>> 2016.. Acesso em out 2016.

MONTONERI, E.; SAVARINO, P.; BOTTIGLIENGO, S.; BOFFA, V.; PREVOT, A.B.; FABBRI, D.; et al. Biomass wastes as renewable source of energy and chemicals for the industry with friendly environmental impact. *Fresenius Environ Bull*, v.18, n.2, p.219-223. 2009.

MORAIS, Rosa Livia Carvalho; BENACHOUR, Mohrand; DUARTE-COÊLHO, Antônio Carlos. Estudo da Caracterização Reológica do licor Negro do Processo Soda/ *Bambusa vulgaris schrad* e do Efeito da Aplicação do Peróxido de Hidrogênio. Disponível em: . Acesso em 10 de julho de 2010.

OLIVEIRA, L.R.P. de. Biodigestor. in: vii simpósio goiano de avicultura e ii simpósio goiano de suinocultura. 2005, p. 4-8.

OLIVEIRA, P. A. V. (Coord.). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos Concórdia: EMBRAPA/ CNPSA., 1993. 188 p. (EMBRAPA CNPSA.Documento, 27).

OZTURK, B; DEMIRCIYEVA, F. PACHECO, F. Conjuntura e Planejamento, Salvador: SEI, 149, p.4-11, Outubro/2006.

PENG, J.; SONG, Y.; WANG, Y.; YUAN, P.; LIU, R. International Biodeterioration & Biodegradation Spatial succession and metabolic properties of functional microbial communities in an anaerobic baf fl ed reactor. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 80, p. 60–65, 2013.

PIVELI, R. P. Tratamento de esgotos sanitários. Publicado em: 2006. Disponíveis em: Acesso em: set. 2016.

QUADROS, D. G. de; et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos los reator contínuo de PVC Flexível. *Rev. bras. eng. agríc. ambiente*, Campina Grande, v.14, n.3. 2010.

REICHERT, G. A.; Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão. In: 23ºCongresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande – MS. 2005.

Renewable Energy World. Biogas Flows Through Germany's Grid Big Time, 2008.

ROHSTOFFE, Fachagentur Nachwachsende. "Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização." Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha, 2010.

ROSA, B. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na alimentação de bovinos de corte. *In: Simpósio Goiano sobre produção de bovinos de corte*. p. 153-161, 1999.

ROSENWINKEL, K. H.; AUSTERMANN-HAUN, U.; MEYER, H. Industrial Wastewater Sources and Treatment Strategies. Environmental Biotechnology, Wiley-VCH, Weinheim, Alemanha, 2005.

SAGULA, A.L. Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-digestão com caldo de cana-de-açúcar. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias da UNESP. Botucatu, São Paulo.

SALOMON, K.R. Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade. 2007. 247f. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal de Itajubá. Itajubá-MG.

Senai/PR. Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná – Curitiba, 2016.

SGORLON, J.G.; RIZK, M.C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C.R.G.; Avaliação da DQO e da Relação C/N Obtidas no Tratamento Anaeróbio de Resíduos Fruti-hortícolas. Acta Scientiarum Technology, v.33, n.4, p.421-424. 2011.

SOUZA, S. N. M.; SORDILL, A.; OLIVA, C. A. Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná. In : Encontro de Energia no Meio Rural, 4., 2002. Disponível em: . Acesso em: out 2016.

SUN, Y.; CHENG, J.J. Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethaol production. Bioresource Technology, v.96, p.1599-1606. 2005.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e Planejamento do Setor energético no Brasil. Estud. av., São Paulo, v.26, n.74, 2012.

WEILAND, P. "Biogas production: current state and perspectives." *Applied microbiology and biotechnology* 85.4 (2010): 849-860.

8 ANÁLISE CRÍTICA DO DESENVOLVIMENTO DO TCC

O trabalho realizado foi de extrema importância pois trata-se de um tema muito atual na matriz energética brasileira, onde ainda não existem pesquisas realizadas com biodigestores utilizando biomassa florestal. Nesse sentido, o trabalho trouxe referências bibliográficas (teóricas) muito importantes incluindo dados sobre os biodigestores do estado do Paraná, que servirão de embasamento teórico para um trabalho científico futuro, utilizando biomassa florestal. Ainda existe muita carência de dados sobre produção de biogás que utilizam resíduos florestais em seu substrato, gerando dificuldades em comparação de dados.

9 AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR

Assinatura
Murilo Zavadinack

Assinatura
Dimas Agostinho da Silva