

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CÉSAR PIRES SORNAS

POTENCIAL ECONÔMICO PARA USO DE BIODIGESTOR EM PRODUÇÃO
LEITEIRA PARA GERAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL

CURITIBA - PR

2021

CÉSAR PIRES SORNAS

POTENCIAL ECONÔMICO PARA USO DE BIODIGESTOR EM PRODUÇÃO
LEITEIRA PARA GERAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL

Trabalho de Conclusão do Curso apresentada ao curso de MBA Gestão do Agronegócio, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão do Agronegócio.

Orientador: Prof. Msc. Nicolas Lazzaretti Berhorst

CURITIBA - PR

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

CÉSAR PIRES SORNAS

POTENCIAL ECONÔMICO PARA USO DE BIODIGESTOR EM PRODUÇÃO LEITEIRA PARA GERAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL

Trabalho de Conclusão do Curso apresentada ao curso de MBA em Gestão do Agronegócio, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão do Agronegócio.

Prof. Msc. Nicolas Lazzaretti Berhorst

Orientador(a) – Departamento _____, INSTITUIÇÃO

Prof(a). Dr(a)./Msc. _____

Departamento _____, INSTITUIÇÃO

Prof(a). Dr(a)./Msc. _____

Departamento _____, INSTITUIÇÃO

Curitiba, ____ de _____ de 2021.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Nicolas Berhorst pelo apoio nessa etapa, ao Adriano da Chácara Marujo por atender e compartilhar importantes informações sobre os biodigestores da propriedade e a minha esposa Aline por apoiar e me acompanhar nessa jornada.

“Que os nossos esforços desafiem as impossibilidades. Lembrai -vos que as grandes proezas da história foram conquistas daquilo que pareciam impossíveis”
(Charles Chaplin)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo mostrar que o uso do sistema de biodigestor já instalado numa produção leiteira pode trazer retornos financeiros através de energia limpa e renovável. O intuito foi mostrar que, quando realizado a purificação de biogás gerado para biometano como combustível para abastecer um gerador termoelétrico, equipamentos agrícolas ou veículos utilizados na propriedade contribuiu com as reduções consideráveis de gastos com combustível. Com o aproveitamento dos resíduos dos animais, que algum tempo era considerado como um problema ambiental, atualmente pode trazer renda ao produtor, através de um manejo técnico de transformação, esses resíduos revertem-se em biocombustível. Essa tecnologia vem ganhando o mercado no Brasil e as barreiras que existiam estão se abrindo com investimentos de grandes empresas privadas e incentivos do governo, como exemplo o Programa ABC – Agricultura de Baixo Carbono, créditos de carbono e renda com entrega de energia excedente para rede elétrica. A aquisição de máquinas e veículos movidos a metano traz uma redução de custos comparado com consumo de combustível fóssil além da contribuição com meio ambiente. Tratores e caminhões médios pesados movidos a biometano ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, mas os resultados obtidos em testes de campo em outros mercados já disponíveis, comprovam essa eficiência como apresentado no trabalho.

Palavras-chave: Biodigestor 1. Biometano 2. Geração de energia 3. Consumo de combustível 4.

ABSTRACT

The present project had objective to show that the biodigester system installed in a dairy production can bring payback through clean and renewable energy. The aim is to show that the biogas purification generated to biomethane as fuel used in a thermoelectric generator, agricultural equipment or vehicles used on the property can contributes to cost reduction as fuel. With the animal's residues, which for sometimes was considered an environmental problem, today can bring income to the producer, through technical transformation management, these residues are converted in biofuel. This technology has been gaining market share in Brazil and the barriers that had are opening with investments from large privates companies and governmental incentives such as the LCA Program – Low Carbon Agriculture, carbon credits and income from the delivery of energy excess to the electricity grid. The machines and vehicles acquisition powered by methane bring a cost reduction compared to fossil fuel consumption in addition to the environment contribution. Tractors and heavy-duty trucks by biomethane fuel aren't still available in Brazilian market, but the results get by field tests and already available markets, prove this efficiency as presented on this project.

Keywords: Biodigester 1. Biomethane 2. Energy generation 3. Fuel consumption 4.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA BÁSICO PARA EXTRAÇÃO DE BIOGÁS	21
FIGURA 2 – SISTEMA DE PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS E SUA APLICAÇÃO.....	22
FIGURA 3 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	24
FIGURA 4 – ATIVIDADE DE CORTE E EMBALAGEM DE FENO PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL	29
FIGURA 5 – MODELO DE VEÍCULO UTILIZADO PARA SERVIÇOS GERAIS MOVIDO A BIOMETANO	29
FIGURA 6 – SISTEMA DE INJEÇÃO DE OXIGÊNIO PARA PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS EM CASTRO - PR.....	32
FIGURA 7 – PAINEL ELETRÔNICO PARA CONTROLE DE PUREZA E INJEÇÃO DE OXIGÊNIO CASTRO - PR	33

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – RANKING NACIONAL DE PRODUÇÃO DE LEITE NO 1º	
TRIMESTRE DE 2021 POR UNIDADE FEDERATIVA	25
GRÁFICO 2 – PRODUÇÃO DE LEITE 1º TRIMESTRE DE 2021(MI LITROS)	25

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – COMPARATIVO FINANCEIRO ENTRE USO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL vs. BIOMETANO.....	23
QUADRO 2 – COMPARATIVO DE AUTONOMIA DE VEÍCULOS E EQUIPAMENTOS.....	28
QUADRO 3 – CONSUMO ANUAL DE COMBUSTÍVEL POR EQUIPAMENTO	30
QUADRO 4 – RANKING DOS CINCO MAIORES PRODUTORES DE LEITE NO BRASIL	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – GERAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO POR GRANDES ATIVIDADES INDUSTRIAIS NO MUNDO (MtCO ₂) / ANUAL.....	19
TABELA 2 – VALORES DE PARÂMETROS QUALITATIVOS PARA BOVINOS DE LEITE	27
TABELA 3 – PREÇOS PRATICADOS DA REFINARIA E PREÇOS NA BOMBA EM ALGUNS ESTADOS	31
TABELA 4 – DEMANDA DE BIOGÁS PARA ATENDER OS EQUIPAMENTOS PROPOSTOS	34

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABC	- Agricultura de baixo carbono
ANP	- Agência Nacional do Petróleo
BNDES	- Banco Nacional do Desenvolvimento
CH ₄	- Metano
CO ₂	- Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico
COV	- Compostos orgânicos voláteis
cv	- cavalo vapor
ETE	- Estação de tratamento de esgoto
GEE	- Gases do Efeito Estufa
GNV	- Gás natural veicular
H ₂ O	- Dióxido de hidrogênio ou água
H ₂ S	- Sulfeto de hidrogênio ou ácido sulfídrico
ILPF	- Integração lavoura- pecuária- floresta
Kcal/m ³	- Quilo calorias por metro cúbico
kW	- QuiloWatts
KVa	- Quilovolt ampere
MAPA	- Ministério da agricultura pecuária e abastecimento
Mt CO ₂ /ano	- Mil toneladas de gás carbônico por ano
N	- Nitrogênio
N ₂ O	- Óxido nitroso
PSA	- Pressure swing adsorption ou adsorção do balanço de pressão
RSU	- Resíduos sólidos urbanos
UF	- Unidade Federativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO	19
2.2	GERAÇÃO DE ENERGIA POR BIOMASSA.....	20
2.2.1	Tratamento de biogás.....	21
2.3	BOVINOCULTURA DE LEITE NO PARANÁ.....	24
2.3.1	Metodologia do potencial de biogás através de cálculos estimados em bovinos de leite	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A grande demanda mundial de alimentos e os constantes surgimentos de novas tecnologias vêm tornando o Brasil cada vez mais competitivo no agronegócio, mas esse crescimento traz consequências com a escassez de recursos naturais e o aumento de resíduos contaminantes que atingem diretamente o solo, ar e água e contribuindo na concentração dos GEEs - Gases de Efeito Estufa (NOBRE e OLIVEIRA, 2018).

Porém parte dessas novas tecnologias vêm se demonstrando aliados na contenção desses efeitos negativos através de controles de emissões de gases nocivos, seja por queima de combustível fóssil, seja por emissões por digestão anaeróbica de materiais orgânicos entre outros fatores. A partir do momento que esses dois efeitos negativos se cruzam, pode-se encontrar uma solução limpa, sustentável e rentável, como exemplo a concentração desses gases em um biodigestor, indiferente da matriz energética, e convertidos para geração de combustível utilizados em maquinários com motores a combustão preparados (ciclo Otto) para utilizar esse combustível e as reduções de altíssimos níveis nas emissões de CO₂ em comparação ao combustível fóssil.

Neste sentido, o trabalho buscou mostrar um comparativo entre o consumo de combustível fóssil (diesel) e o Biometano aplicados em geradores termoelétrico, tratores agrícolas e veículos utilizados em uma propriedade rural produtora de leite, onde a tecnificação em um biodigestor pode trazer retorno financeiro para produtores que buscam autossustentabilidade energética e vantagens ambientais, além da redução de custos com o uso de fertilizantes minerais aplicados na lavoura utilizados como biofertilizantes gerados do digestato dentro do mesmo ciclo do processo de tratamento.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com poucas variações e preços não muito atrativos do leite, esses fatores contribuem para casos de abandonos da atividade, por impossibilidade de investir em tecnologias e consequentemente falta de sucessão familiar onde essa atividade deixa de ser atrativo aos jovens do campo. Portanto, para agregar valor na atividade leiteira, uma das opções viáveis e tecnológicas que podem contribuir com a renda na propriedade, desde que bem manejadas, é a implantação de biodigestores.

A grande dependência de energia elétrica e combustíveis além das oscilações de preços regidos pelas fornecedoras muitas vezes contribuem para um risco, tanto na atividade leiteira como qualquer outra atividade agrícola na qual contribui para uma baixa margem de lucro e muitas vezes inviabiliza a atividade. Outro risco é o alto pagamento de taxas de multas ambientais por falhas nos descartes inapropriados dos dejetos gerados dentro da propriedade. Assim, ao transformar os passivos ambientais em ativos, possibilita produzir o próprio combustível e gerar a energia elétrica e térmica necessária com os resíduos que outrora fora considerado um problema e os controles financeiros podem se manter estáveis com retornos atrativos ao produtor dentro de sua atividade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho teve como objetivo através de comparativos básicos entre o consumo médio de combustível fóssil versus a utilização do biometano, reforçar que a potencialização de um biodigestor em uma propriedade que gera um volume considerável de resíduos orgânicos oriundos de bovinos leiteiros, pode trazer muitos benefícios à propriedade como uma redução de custos atrativos comparados com a atividade padrão.

1.2.2 Objetivos específicos

Comparar os custos aplicados na aquisição de combustível fóssil para uso de equipamentos e veículos em relação a utilização do biometano, através de dados de

um cenário atual em uma possível propriedade produtora de leite que possui um sistema de biodigestor instalado:

- Gerador de energia com capacidade média de 75 kW que atenda a demanda de fornecimento de energia da propriedade;
- Trator (es) equipado com motor de 180 cv;
- Caminhão médio pesado equipado com potência aproximada de 200 cv;
- Camionete com potência aproximada de 160 cv.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

A partir do momento que o homem descobriu o poder sob o controle das formas de geração de energia e que estas se tornariam úteis como o fogo para gerar energia térmica para se aquecer e cozinhar, inicia-se uma nova fase através da domesticação de animais, que a partir desses desenvolve a energia mecânica, favorecendo o transporte e a agricultura e com isso, novas formas de geração energética começam a surgir, como a hídrica e eólica (SILVA *et al.*, 2003). Nesse contexto evolutivo inicia-se através dos séculos consequentes a busca de novas e rentáveis fontes energéticas para atender a crescente necessidade para o desenvolvimento industrial, surgidos então as fontes energéticas através do carvão, energias atômicas e combustíveis fósseis.

Com a abundante reserva do planeta e o consumo crescente de combustíveis fósseis somados ao total descontrolado no uso dos recursos naturais e dos resíduos gerados, formaram-se altas concentrações dos Gases de Efeito Estufa (GGEs) na atmosfera, intensificando a ação do efeito estufa do planeta (EMBRAPA, 2018).

TABELA 1: GERAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO POR GRANDES ATIVIDADES INDUSTRIAIS NO MUNDO (MtCO₂) / ANUAL:

Processo	Nº de Fontes	Emissões (MtCO ₂ /anual)
Queima de combustível fóssil	4.942	10.539
Produção de cimento	1.175	932
Refinarias	638	798
Indústrias de ferro e aço	269	646
Indústria petroquímica	470	379
Processamento de óleo e gás	N/I	50
Outras fontes	90	33
Biomassa		
Bioetanol e bioenergia	303	91
TOTAL	7.887	13.468

FONTE: Metz *et al.* (2005).

Segundo Metz *et al.* (2005), o aquecimento global é consequência de altas concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, resultado da queima de

combustíveis fósseis em atividades agrícolas, industriais e transportes entre outras atividades, seguido do Óxido Nitroso (N_2O). Apesar de conter uma menor concentração comparado ao dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) tem alto poder de contaminação do ar e maior potencial na retenção de calor.

O metano surge através de biodigestão anaeróbica de materiais orgânicos na natureza. Ações realizadas pelo ser humano como a queima de biomassa, grandes disposições residuais, tratamentos ineficientes de efluentes, atividades agrícolas contribuem para geração desse gás, e segundo BATISTA (1981), por possuir um poder calorífico entre 5.000 à 7.000 kcal/m³ e potencial para atingir 12.000 kcal/ m³ através de tratamentos físico químicos, esse gás torna-se grande aliado na geração limpa de energia. O biogás possui entre 50% a 70% de CH_4 + CO_2 na proporção entre 30% a 50%, e quanto maior o teor de CH_4 , mais puro é o biogás.

Apesar de grande potencial em geração de energia e combustível, o Brasil ainda está muito atrasado nesse ramo de desenvolvimento e ainda na dependência de tecnologias importadas que os tornam caros e inviáveis. Sob tal responsabilidade ambiental, o Brasil lançou o Plano de agricultura de baixa emissão de carbono (ABC) coordenado pelo MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, com incentivos à introdução de novas tecnologias voltadas a produção rural sustentável.

Esse plano tem como objetivo preconizar práticas na cadeia agrícola, florestal e pecuária mais eficientes e gerar renda ao produtor com foco em seis áreas: recuperar pastagens degradadas, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) somado aos sistemas agroflorestais, plantio direto na palha, fixação biológica de nitrogênio, plantio de florestas comerciais e tratamento de dejetos animais (MAPA, 2012).

Neste contexto, o Plano Safra 2021/2022 visa incentivos para financiamentos aos produtores na aquisição, construção ou ampliação de unidades produtoras de bio insumos, renovação de sistemas de geração energéticas renováveis (BRASIL, 2021).

2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA POR BIOMASSA

As consequentes fontes nocivas de gases do efeito estufa (GEE) vem forçando as nações buscarem novas formas de gerações energéticas. Ações governamentais e políticas públicas de promoção de sustentabilidade energética nos processos produtivos vêm sendo adotados em tecnologias eficientes e limpas (EMBRAPA, 2018). Neste sentido, pode-se gerar energia elétrica, térmica ou

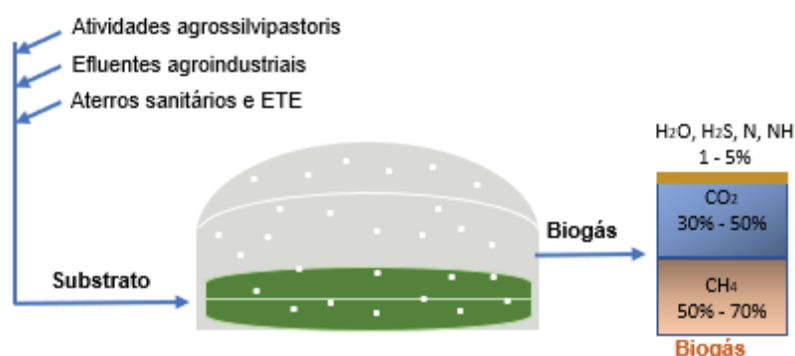
combustível renovável em forma de biogás e biometano através do processamento de biodigestão.

Conforme BiogásBrasil (2020), O biometano é um combustível na forma gasosa, extraído da purificação do biogás, onde esse é o resultado de matéria orgânica decomposta através de várias fontes, entre elas temos:

- Digestão anaeróbica provenientes de efluentes agroindustriais;
- Digestão anaeróbica de resíduos gerados por atividades agrossilvipastoris;
- Aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto.

O biometano possui uma excelente taxa energética e eficiência de combustão, por esse motivo tem sua aplicabilidade na geração de energia elétrica, térmica e combustível veicular. Com uma taxa de conversão térmica próximos de 95% em aquecimento simples, em taxa de conversão elétrica, o valor gera em torno de 60% e na geração térmica, o gás exaustor gira em torno de 400 a 600°C (BIOGÁSBRASIL, 2020).

FIGURA 1: ESQUEMA BÁSICO PARA EXTRAÇÃO DE BIOGÁS.



FONTE: BiogásBrasil (2020). Adaptado pelo autor.

2.1.1 Tratamento do biogás

Segundo BiogásBrasil (2020), para obter um gás de qualidade para uso, deve submetê-lo a um processo de purificação, dependendo de qual o objetivo que se pretende. Como o biometano, este deve apresentar baixas concentrações de impurezas responsáveis por causar danos em equipamentos, ou como biogás, que depende para qual aplicação energética será consumido, térmica ou elétrica. Porém esses processos dependem do nível de tecnologia aplicada.

O processo de tratamento do biogás se faz da seguinte maneira:

- Remoção de umidade: condensação formada através do vapor d'água nas tubulações que em contato com outros agentes geram desgastes e corrosões no sistema;

- Remoção de H₂S (Ácido Sulfídrico): gás gerado durante a digestão anaeróbica que ligado a água, torna-se corrosivo;

- Remoção de Siloxanos (RSU): compostos sílicos que se misturam ao biogás devido sua baixa solubilidade provocando desgastes prematuros em motores a combustão reduzindo sua vida útil devido sua abrasividade;

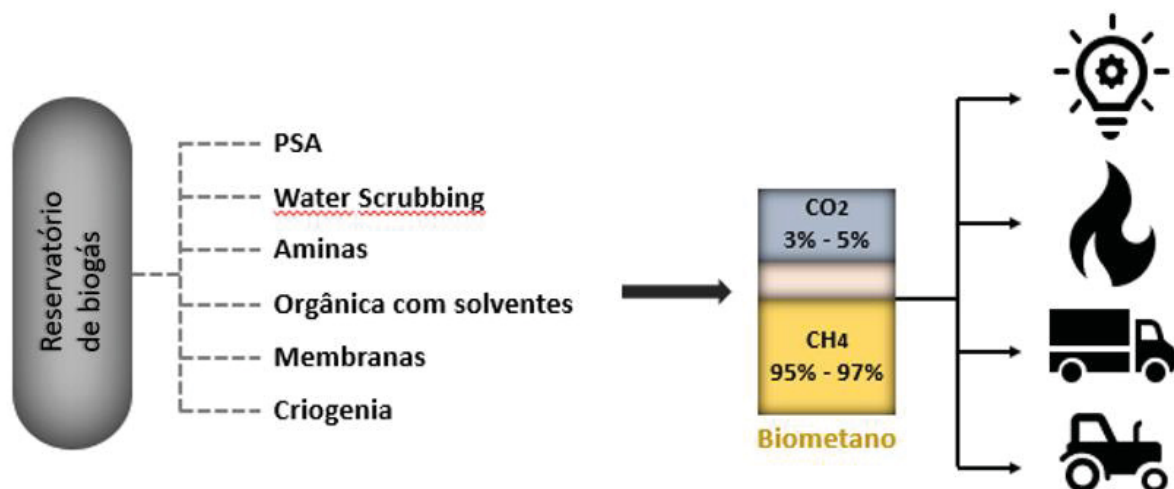
- Remoção de COV's: compostos orgânicos voláteis e outras impurezas.

Entre todos os processos de purificação do biogás para produção do biometano, o componente de maior concentração depois do metano que se remove é o dióxido de carbono (CO₂) por ser um gás inerte, não inflamável a pressão e temperatura ambiente, conforme mostra a figura 1. A não remoção desses componentes além de causar danos nos equipamentos, contribuem na redução do poder calorífico do biogás (BIOGÁSBRASIL,2020).

A purificação do biogás pode ser realizada de várias formas, nas quais cada uma tem suas particularidades quanto as tecnologias e altos custos de investimentos.

Entre os processos temos: Water Scrubbing, absorção/ Aminas, solventes orgânicos, adsorção/ PSA (pressure swing adsorption), filtração por membranas, resfriamento ou crioseparação conforme mostra a figura 2:

FIGURA 2: SISTEMAS DE PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS E SUA APLICAÇÃO



FONTE: BiogásBrasil (2020). Adaptado pelo autor.

Segundo Petrobrás (2019), após purificado o biogás, o biometano quando consumido como combustível veicular torna-se uma excelente alternativa de reduções de custos nas frotas de uma propriedade. O quadro 1 apresenta alguns comparativos genéricos entre valores de rendimentos e custos de diferentes aplicações do biometano em veículos. Esses dados podem ocorrer variações devido diversos fatores que impactam na economia entre rendimento e autonomia.

QUADRO 1 – COMPARATIVO FINANCEIRO ENTRE USO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL vs. BIOMETANO

Veículo	Combustível	Autonomia média de consumo	Média de consumo	Custo por km rodado (R\$)	Economia a cada 100 km rodados (R\$)
Ônibus	Diesel	300 km	2,2 km/L	1,26	37,00
	Biometano		2,02 km/m ³	0,89	
Caminhão	Diesel	200 a 300 km	2,15 km/L	1,26	37,00
	Biometano		1,98 km/m ³	0,89	
Automóvel leve	Gasolina	400 km (cidade)	13 km/L	0,43	28,00
	Etanol		9,0 km/ L	0,33	
	Biometano		15 km/m ³	0,15	
Trator com arado	Diesel	5 a 6 horas	-	58,5	312,1 (10 horas de operação)
	Biometano			27,29	

FONTE: Petrobrás, 2019. Adaptado pelo autor.

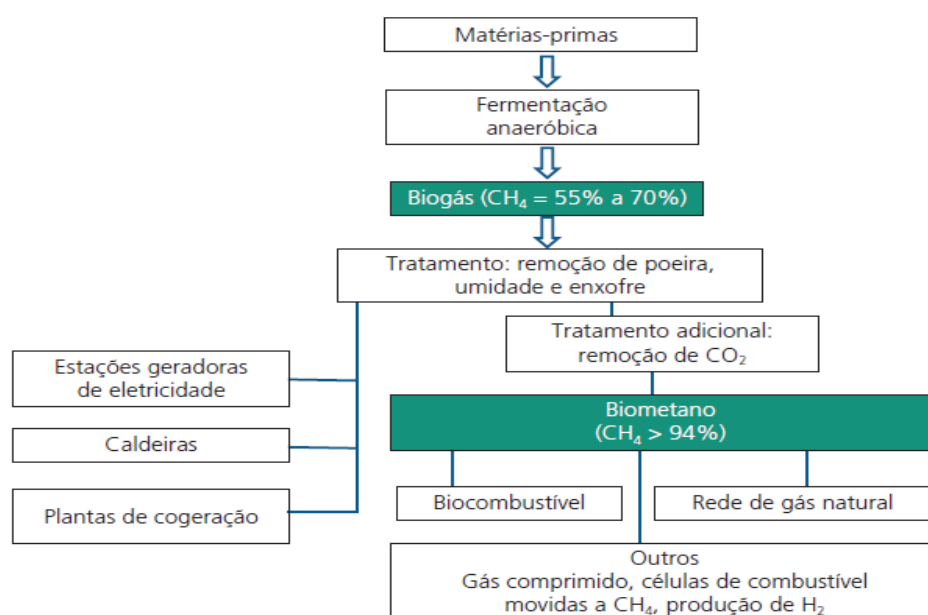
Os dados comparativos dos veículos apresentados no quadro 1 referem-se: ônibus com 15 metros de comprimento, dois eixos direcionais e capacidade para até 120 passageiros com autonomia e consumos de percurso urbano. **Caminhão** semipesado motor Ciclo Otto GNV, de seis cilindros de alta pressão. Custos referentes ao km rodado em centro urbano (coleta de lixo). **Carro** tetrafuel, motor 1.4. Autonomia, consumo e custos referentes ao km rodado em centro urbano. **Trator** com motorização de 6 cilindros, 180 hp de potência e 740 Nm de torque, autonomia de 5 a 6 horas e custos referentes a operação com aradora pesada com 14 discos de 38”.

Como citado por Mendonça (2018), a emissão de CO₂ entre diesel e biometano a cada 10 km rodado é de 1,3 kg e 0,2 kg respectivamente na qual o biometano reduz cerca de 85% de emissões de CO₂ favorecendo a qualidade do ar principalmente em centros urbanos de gases poluentes, além de outras vantagens como a manutenção veicular sendo relativamente simples pelo fato de ser um combustível limpo e seco que contribui com baixos índices de desgastes nos componentes mecânicos e proporciona redução de custos devido as vantagens de exonerar pagamentos de tributos na compra de gás, combustível e eletricidade. A proporção equivalente entre o Biogás e outros combustíveis, conforme citado por EMBRAPA (2021), gera em torno de 1m³ de biogás que equivale à 0,66 litros de Diesel ou 0,7 litros de gasolina.

A viabilidade do uso do biogás através de biomassas geradas pelos animais em uma propriedade comparados com outras fontes geradoras de energia, como a eólica, hídricas e fotovoltaicas é o fato da simples possibilidade de estocagem do gás, seja natural como pressurizado e passíveis de transportes ou entregues nos gasodutos.

O grande potencial para geração de biogás depende do fator quantitativo e qualitativo de matéria-prima que pode ser processado, e o ponto de purificação na qual pode ser chamado de biometano é o momento que se atinge acima de 90% de pureza segundo ANP (2017). Para isso, passa por um processo de filtragem para remoção de gases corrosivos, como o ácido sulfídrico e outros componentes, responsável por fortes odores e severos danos nos sistemas mecânicos (BNDES, 2018).

FIGURA 3: PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS:



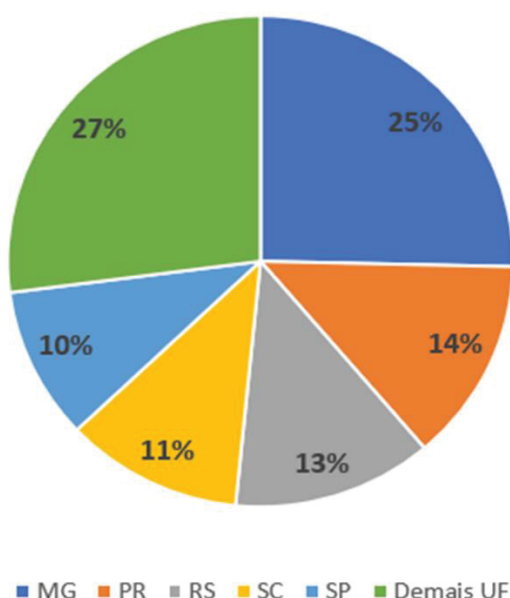
FONTE: BNDES (2018). Adaptado de RABONI, M; URBINI, G. (2014).

2.2 BOVINOCULTURA DE LEITE NO PARANÁ

Com dados do levantamento da produção agropecuária do SEAB (2021), no primeiro trimestre de 2021 o estado do Paraná destacou-se em segundo lugar no ranking de produção brasileira de leite comparado com as demais unidades federativas sendo responsável por 14% de toda produção nacional e corroborando

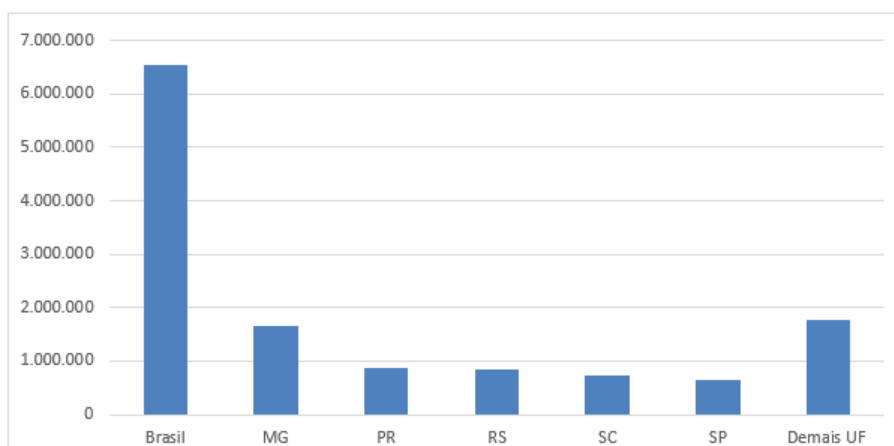
para que o Brasil se mantenha em quinta posição com 7% da produção mundial. Os estados de Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina juntos são responsáveis por 35,7% da produção nacional com volumes superior da Argentina, e o estado do Paraná teve um acréscimo de 55% na produção em dez anos, referentes entre 2008 a 2018 (DERAL, 2020). O estado ainda tem potencial para crescimento, mas depende de investimentos no setor para atender as exigências dos mercados apesar de condições climáticas e pastagens favoráveis.

GRÁFICO 1 – RANKING NACIONAL DE PRODUÇÃO DE LEITE NO 1º TRIMESTRE DE 2021 POR UF.



FONTE DE DADOS: SEAB PR (2021). Adaptado pelo autor.

GRÁFICO 2 – PRODUÇÃO DE LEITE 1º TRIMESTRE DE 2021 (MIL LITROS).



FONTE DE DADOS: SEAB PR (2021). Adaptado pelo autor.

No estado do Paraná, as bacias produtoras de leite estão divididas por regiões:

- Região Sudoeste, sendo esta a maior produtora de leite em volumes do estado, houve um crescimento de 98% em dez anos (2007 à 2017) onde saltou de uma produção de mais de 500 milhões de litros para 1,0 bilhão de litros e está representado pelos municípios de Pato Branco, Francisco Beltrão, Dois Vizinhos e Laranjeiras do Sul;

- Região Centro Oriental está representada pelos municípios de Castro, Carambeí, Palmeira e Arapoti. Estes polos produtivos se destacam pelo uso de tecnologias de ponta na produção, agregam altos índices de produtividade, focam em genética que é uma referência nacional e investem em alimentação de qualidade;

- Região Oeste tem como principais municípios Cascavel e Toledo sendo essa região considerado com menor índice de crescimento em 10 anos, com 5,4% apenas comparado com Sudoeste nos mesmos anos – 2007 a 2017 (SEAB, 2020).

Uma das principais fontes de geração de dejetos para aplicação em um biodigestor é a bovinocultura de leite. Outras fontes da pecuária também importantes são da suinocultura, bovinocultura de corte, sendo este um potencial na produção em confinamento, mas no geral ainda possui como maior volume o sistema convencional à pasto que impossibilita a retenção dos resíduos e a avicultura que necessita de tratamento diferenciado devido ao acúmulo dos resíduos estarem misturados na cama de frangos no estado sólido e que compete em menor valor agregado comparado com o uso residual direto como fertilizantes nitrogenados (BNDES, 2018). Outra fonte agrícola muito importante é a vinhaça de cana-de-açúcar em usinas de etanol e açúcar.

2.2.1 Metodologias do potencial de biogás através de cálculos estimados em bovinos de leite

Muitas metodologias podem ser encontradas em literaturas para estimar o potencial de biogás em diversos tipos de plantéis onde os resultados podem ser influenciados por vários fatores determinantes e que estes não podem ser utilizados para desenvolvimento de projeto, para isso deve ser estudado caso a caso em suas

particularidades, mas podem ser usados como base da iniciativa. Porém, há uma necessidade de utilizar parâmetros qualitativos, obtidos através de análises coletados na propriedade ou através de fontes bibliográficas. Nesse sentido, Mito *et al.* (2018) formularam um banco de dados de uma extensa pesquisa bibliográfica de parâmetros qualitativos a fim de determinar intervalos de valores que melhor se adequam entre as metodologias.

Dentre os estudos, o resultado das médias entre os parâmetros, visando a bovinocultura de leite, mostra se conforme tabela abaixo:

TABELA 2: VALORES DOS PARÂMETROS QUALITATIVOS PARA BOVINOS DE LEITE.

	SV ($\text{g}_{\text{sv}} \text{ L}^{-1}$)	B ₀ ($\text{M}^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{kg}_{\text{sv}}^{-1}$)	Produção de efluentes ($\text{L animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)
Bovino de leite	68,59	0,21	93,7

FONTE: Mito *et al* (2018)

Onde:

SV ($\text{g}_{\text{sv}} \text{ L}^{-1}$) = Concentração de sólidos voláteis

B₀ ($\text{M}^3_{\text{CH}_4} \text{ kg}_{\text{sv}}^{-1}$) = Capacidade de produção de metano pelo dejetos

Os sólidos voláteis são uma pequena fração orgânica do material que será fermentada e volatilizada no interior do biodigestor. Nestes encontram se os parâmetros mais relevantes na estimativa para produção do biogás, na qual pode se intensificar ou reduzir dependendo de sua fração, ou seja, quanto maior sua concentração, maior será sua produção de biogás.

A capacidade de produção de metano pelo dejetos (B₀), considera como a máxima produção de metano no biodigestor a partir de uma determinada biomassa. Esses parâmetros são encontrados através de análises de laboratórios e na produção de efluentes são considerados as fezes, a urina e a água a limpeza e depende de sua proporção (EMBRAPA, 2002).

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada foi a comparação entre os custos despendidos em combustível fóssil (diesel), com o uso do próprio combustível produzido através da purificação do biogás gerado pelo biodigestor. Outro fator importante foi relacionar a

quantidade de animais que possa atender as necessidades de consumo dos equipamentos.

As informações de correlações entre autonomia e os consumos no quadro 2 são uma média de valores que foram adquiridas através de contatos com revendedores, visita técnica e websites e as potências dos equipamentos estão relacionados conforme a disponibilidade no mercado, mas próximos das necessidades.

QUADRO 2 – COMPARATIVO DE AUTONOMIA DE VEÍCULOS E EQUIPAMENTOS

Consumo de Diesel		Consumo de Biometano	
Caminhão 280 cv (km/L)	2,75	caminhão 200 cv (km/ m ³)	2,38
Trator 180 cv (L/h)	5,80	Trator 180 cv (m ³ /h)	6,40
Camionete 160 cv (km/ L)	9,70	Camionete 166 cv (GNV)(km/ m ³)	9,00
Gerador 90 kVA/ 72 kW (L/h)	21,00	Gerador 96 kVA/ 77 kW (m ³ / h)	30,00

FONTE: Autor (2021)

Para atividade leiteira, foram considerados os equipamentos conforme mostra o quadro 2 devido a otimização funcional e logística de uma propriedade fictícia que atua na atividade leiteira, na qual utilizaria o caminhão da categoria semipesado para transporte de fardos de feno e forragens para alimentação animal com carroceria de carga seca e sistema de tração 4x2. A atividade leiteira requer total atenção dos produtores na qual está ativa diariamente entre 12 a 15 horas. O trator é de uso constante em todos os processos na atividade leiteira na qual possui uma eficiência de trabalho entre 10 a 12 horas por dia. A quantidade de trator depende do tamanho da propriedade e seus respectivos implementos. O processo de preparação da alimentação dos animais é muito crucial para obter uma boa qualidade, principalmente na hora do corte. Nesse processo são necessários três a quatro tratores, dependendo do clima e temperatura no momento da colheita da silagem.

FIGURA 4: ATIVIDADE DE CORTE E EMBALAGEM DE FENO PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL



FONTE: New Holland AG

O uso de veículo leve também se faz necessário para serviços gerais dentro e fora da propriedade, portanto foi considerado uma camionete de porte médio para realizar esses serviços que pode chegar a uma eficiência diária de 100 km.

FIGURA 5: MODELO DE VEÍCULO UTILIZADO PARA SERVIÇOS GERAIS MOVIDO A BIOMETANO



FONTE: Autor, 2021

O gerador termoelétrico é essencial para geração de energia utilizado na iluminação, bomba de água para limpeza das ordenhadeiras e estábulos, local onde se coletam os resíduos para geração do biogás, sistema de refrigeração do leite armazenado antes de transportá-lo, ordenhadeiras, bombas de fluxo de resíduos e digestato, aeração dos estábulos, manter os sistemas elétricos do biodigestor ativos entre outras utilizações na propriedade, ou seja, ser auto sustentável e ter esta fonte como outra redução de gastos em energia elétrica e a geração térmica utiliza-se para conforto dos animais, um dos manejos que contribui para o melhoramento na produtividade, aquecimento do biodigestor necessário para promover melhor desempenho no processo de biodigestão e aquecimento da água utilizado na limpeza das ordenhadeiras.

Neste contexto, ao extrair os dados iniciais do quadro 2 - comparativo de autonomia de veículos e equipamentos - foi analisado o comparativo de consumo médio anual de ambos os combustíveis conforme mostra os dados do quadro 3, onde se enquadra uma unidade por equipamento, ou seja, o que cada equipamento pode vir a consumir durante um ano conforme suas eficiências de trabalho .

QUADRO 3 – CONSUMO MÉDIO ANUAL DE COMBUSTÍVEL POR EQUIPAMENTO

Equipamento	Diesel Litros/ ano	Biometano m³/ ano
Caminhão	13.271	15.334
Trator	25.404	28.032
Camionete	3.760	4.052
Gerador	183.960	262.800
Total	226.395	310.217

FONTE: Autor (2021)

As constantes altas nos preços dos combustíveis afetam diretamente no financeiro das atividades agrícolas dificultando o planejamento no balanço anual. Portanto para seguir como base de custo, considerou-se os valores aplicados na tabela 3 da Petrobrás (2021) visando o estado do Paraná:

TABELA 3: PREÇOS PRATICADOS DA REFINARIA E PREÇOS NA BOMBA EM ALGUNS ESTADOS

Diesel S10 (R\$/litro)		
Estado	Contribuição Preço Petrobrás na Revenda ⁽¹⁾	Preço Médio Revenda ⁽²⁾
AM	2,484	4,647
BA	2,522	4,715
CE	2,450	4,849
DF	2,661	-
ES	2,529	4,523
GO	2,641	4,746
MA	2,423	4,617
MG	2,645	4,711
PA	2,472	4,865
PE	2,431	4,585
PR	2,526	4,390
RJ	2,593	4,637
RS	2,526	4,532
SC	2,603	4,571
SP	2,556	4,604
Média Brasil	2,544	4,662

FONTE: Petrobrás

(1) Preço referente a 90% de Diesel A, considerando a mistura obrigatória de 10% de biodiesel.

(2) Preço médio de revenda com base nos dados da ANP para semana de 08/08/2021 a 14/08/2021.

Com relação ao biometano, existem muitos fatores que afetam na produção do biogás, na qual a temperatura é o mais importante, seguido pelo sistema de agitação dos substratos além do tipo do biodigestor instalado (BIOGASBRASIL, 2020). Como o sistema de purificação do biogás é relativamente caro, um meio mais prático e de baixo custo é a dosagem de oxigênio, onde com a presença desse ar ocorre a dessulfurização biológica do H₂S em enxofre elementar (KUNZ, 2019). Mas é indicado se informar com os fabricantes se há a possibilidade do uso do biogás nesse sistema de purificação ou se é realmente necessário a filtragem, por questões de garantia e vida útil dos equipamentos.

FIGURA 6: SISTEMA DE INJEÇÃO DE OXIGÊNIO PARA PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS EM CASTRO-PR



FONTE: Autor, 2021.

FIGURA 7: PAINEL ELETRÔNICO PARA CONTROLE DE PUREZA E INJEÇÃO DE OXIGÊNIO
CASTRO - PR



FONTE: Autor, 2021

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesse processo se fez necessário conhecer a quantidade de biogás produzidos numa propriedade, para atender as demandas de combustível que poderiam ser consumidos nos equipamentos propostos nesse trabalho a serem utilizados. A tabela 4 são praticamente os mesmos valores do quadro 3, porém com as unidades estimadas que mostra a relação desses equipamentos comparados entre os dois tipos de combustíveis com suas respectivas demandas de consumos anuais.

TABELA 4: DEMANDA DE BIOGÁS PARA ATENDER OS EQUIPAMENTOS PROPOSTOS

Equipamento (unidade)	Diesel Litros/ ano	Biometano m ³ / ano
Caminhão (1)	13.271	15.334
Trator (3)	76.212	84.096
Camionete (1)	3.760	4.052
Gerador (1)	183.960	262.800
Total	277.203	366.281

FONTE: Autor (2021)

Sabendo que na bovinocultura leiteira, cada cabeça de vaca gera em média 47 kg por dia de dejetos e que esse volume pode gerar até 0,60 m³ diários de biogás quando bem manejados. Pode-se encontrar outros valores em literaturas referentes ao assunto pois os volumes de dejetos são influenciados por muitos fatores como tipo e quantidade de alimentação, porte dos animais, manejo, raça, clima entre outros. Portanto, para atender as necessidades de combustível relacionadas na tabela 4, foram utilizados os valores conforme pesquisa, onde nesse estudo de caso seriam necessárias um plantel de aproximadamente 1.650 cabeças de vacas no total, ou seja:

$$0,60 \text{ m}^3/\text{dia} \times 365 \text{ dias} = 219 \text{ m}^3 \text{ de biogás ano/ animal}$$

$$366.281 \text{ m}^3/\text{ano} \div 219 \text{ m}^3/\text{ano} = 1.672 \text{ animais}$$

Para que seja viável a instalação de um biodigestor, deve ser necessárias um mínimo de 80 cabeças de vacas (MILKPOINT, 2018). Em ordem de grandeza, foi comparado o volume aproximado de 1.650 vacas totais (lactação e gestação) com planteis existentes entre os cinco maiores grupos produtores de leite do Brasil no ano

de 2021 para entender a posição que a demanda proposta se encontraria, nas quais estão inseridos no quadro 4 abaixo:

QUADRO 4 – RANKING DOS CINCO MAIORES PRODUTORES DE LEITE NO BRASIL

Ranking	Propriedade	Vacas em lactação	Total de vacas	Localização
1º	Fazenda Colorado	2.100	5.400	Araras - SP
2º	Melkstad Agropecuária	1.850	3.760	Carambeí - PR
3º	Grupo Sekita	1.800	4.000	São Gotardo - MG
4º	Fazenda São José	2.000	5.000	Tapiratiba - SP
5º	Fazenda Santa Rita	1.400	3.500	Descalvado - SP

FONTE: Revista Milkpoint (2021). Adaptado pelo autor

Portanto, através desses resultados, pode-se considerar que as necessidades de biometano para substituição de diesel que se pretende atender as demandas dos equipamentos aqui mencionados, estão dentro das expectativas em uma propriedade de médio à grande porte e os valores monetários da qual a propriedade se beneficiaria em uma redução nos custos em combustível fóssil, temos como conta básica:

- 277.203 litros de diesel consumidos por ano (tabela 4);
- R\$ 4,390 por litro de diesel (preço PR em agosto de 2021);

$277.203 \times R\$ 4,390 = R\$ 1.216.921,00$ de redução.

Para que esse número chegue o mais próximo da realidade, deve ser realizado uma consultoria especializada da região na qual cada detalhe torna-se importante para o melhor resultado.

Porém, com esses números pode-se concluir que a utilização do biogás transformado em biometano utilizado como combustível é uma excelente opção de redução nos gastos de uma propriedade e manter-se competitivo no mercado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Indiferente do tamanho da propriedade e considerado o volume mínimo de 80 cabeças de vacas ou compartilhado com outros animais ou resíduos, o uso do biodigestor pode agregar muito valor à propriedade rural seja pelo fator econômico

quanto ambiental, sendo direcionado o biogás gerado para atender a melhor opção de equipamento conforme necessidade.

Além do uso do biometano como combustível reduzindo os gastos com diesel consumidos nos equipamentos, outras vantagens que os proprietários podem adquirir é a entrega do excedente de biometano para rede de distribuição, excedente de energia para rede elétrica, a própria redução de gastos em energia elétrica gerado pelo gerador, a produção de biofertilizantes e principalmente a redução dejetos que causariam possíveis impactos ambientais que poderiam afetar o solo, água e o ar na região, consequentemente créditos de carbono.

Em relação aos equipamentos citados no trabalho, o caminhão semipesado e os tratores propostos neste trabalho, estes ainda não estão disponíveis comercialmente no mercado brasileiro, mas já se encontram em processo de validação e introdução no mercado através de uma iniciativa de inovação de uma multinacional italiana.

REFERÊNCIAS

AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Árvore do Conhecimento – Agroenergia. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>. Acesso em: 12 jul. 2021.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – **RESOLUÇÃO Nº 685, DE 29 DE JUNHO DE 2017.**

BATISTA, L.F. **Manual técnico construção e operação de biodigestores.** Brasília, DF, 1981, (Manuais, 24).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura:** Plano ABC (Agricultura de Baixa emissão de Carbono). Brasília, DF, 2012. 172p.

EMBRAPA. Emissões de metano da pecuária. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. Relatório de Referência.

KUNZ, A., STEINMETZ, R., AMARAL, A.C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Sbera: Embrapa. Concórdia/SC. 2019.

MILKPOINT. Quando é viável optar pelo biodigestor- em 17/08/2018. Disponível em <https://www.milkpoint.com.br/colunas/educapoint/quando-e-viavel-optar-pelo-biodigestor-209780/>. Acesso em 01 Dez. 2021.

MILKPOINT. Ranking Top 100 2021. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/top100/2021/> . Acesso em 11 Set. de 2021.

METZ, B.; DAVIDSON, O.; CONINCK, H.; LOOS, M.; MEYER, L. **IPCC special report on carbon dioxide capture and storage.** Cambridge University Press, 2005. 1st published.

MILANEZ, A. Y.; GUIMARÃES, D. D.; MAIA, G. B. da SILVA; SOUZA, J. A. P.; LEMOS, M. L. F. – **Biogás de Resíduos Agroindustriais: Panorama e Perspectivas.** Biogás | BNDES Setorial 47, P.221-276. Brasília, DF, 2018.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (Brasil); UNIDO, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CIBIOGÁS, CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. Biometano: Biocombustível verde - Guia Técnico. MCTI. Brasília-DF. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil). Dezembro de 2020.

MITO, J. Y. de L; KERKHOFF, S; SILVA, J.L.G; VENDRAME, M.G.; STEINMETZ, R.L.R; KUNZ, A. Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil – CIBiogás Energias Renováveis/ Embrapa Suínos e Aves. Concórdia – SC, 2018.

New Holland Tractors in hay & forage crop. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=kWjVcbNftZA>. Acesso em: 21 Ago. 2021.

NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R.; **Agricultura de Baixo Carbono** – Tecnologias e Estratégias de Implantação. EMBRAPA. Brasília- DF, 2018.

PLANO SAFRA 21/22 – **Programa ABC**. Disponível em:
<<https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/06/plano-safra-21-22-aumenta-recursos-para-tecnicas-agricolas-sustentaveis>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

PETROBRAS - PREÇOS DE VENDAS DE COMBUSTÍVEIS. Disponível em:
<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/precos-de-venda-de-combustiveis/>. Acesso em: 21 Ago. 2021.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento - Levantamento da Produção Agropecuária. Pesquisa trimestral do leite – 1º trimestre 2021. 08/06/2021. Disponível em: <<https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/ProducaoAnual>>. Acesso em: 13 jul.2021.

SILVA, E. P. da; CAMARGO, J. C.; SORDI, A; SANTOS, A. M. R. **Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento: O Futuro dos Recursos** #1. Editora MultiCiência, 2003.