



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ALINE CASTRO PRACIANO

**USO DE BIODIGESTOR COMO PROPOSTA DE TECNOLOGIA SOCIAL DE
CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO**

FORTALEZA

2021

ALINE CASTRO PRACIANO

USO DE BIODIGESTOR COMO PROPOSTA DE TECNOLOGIA SOCIAL DE
CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Adryane Gorayeb.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P91u Praciano, Aline Castro.
Uso de biodigestor como proposta de tecnologia social de convivência com o semiárido / Aline Castro Praciano. – 2021.
88 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.
Coorientação: Prof. Dr. Adryane Gorayeb.
1. biogás. 2. energia térmica. 3. Forquilha. I. Título.

CDD 630

ALINE CASTRO PRACIANO

USO DE BIODIGESTOR COMO PROPOSTA DE TECNOLOGIA SOCIAL DE
CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: 04/10/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Adryane Gorayeb
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Maria Alexandra Sousa Rios
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Lucas Seghezso
Universidad Nacional de Salta (UNSa)

A Deus.

Aos meus pais, esposo e filho.

AGRADECIMENTOS

À Instituição Universidade Federal do Ceará (UFC), pela estrutura física, funcionários, servidores e professores.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao Projeto “Tecnologias sociais e ações integradas de sustentabilidade para a garantia da segurança hídrica, energética e alimentar em nível comunitário no semiárido cearense” aprovado na chamada MCTIC/CNPq No 19/2017 – NEXUS I: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Caatinga e Cerrado. Coordenado pela Professora Dra. Adryane Gorayeb.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro do Projeto “Ações integradas de tecnologias sociais na redução da vulnerabilidade de comunidades inseridas em áreas susceptíveis à desertificação aprovado na Chamada CNPq/MCTIC/MDS No 36/2018 – Tecnologia social. Coordenado pelo Professor Dr. Jader de Oliveira Santos.

Ao Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, pela excelente orientação e amizade.

À Prof^a. Dra Adryane Gorayeb, pela excelente coorientação, amizade, incentivo, compreensão, oportunidades de aprendizado e de crescimento pessoal.

Aos professores participantes da banca examinadora Carlos Alberto Viliotti, Maria Alexandra de Sousa Rios e Lucas Seghezze pelo tempo, pelas valiosas colaborações, sugestões e apoio durante a pesquisa.

Aos professores Jader de Oliveira Santos, Adunias do Santos Teixeira e Alexandra de Sousa Rios pelas valiosas colaborações, sugestões e apoio durante a pesquisa.

Aos colegas dos grupos de pesquisa Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), principalmente Daniel Amaral e Lucas Santos. E aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia Social (Labocart), pela convivência e auxílio nas pesquisas.

Às amigas verdadeiras que construí ao longo da minha jornada na UFC. Principalmente pela amizade de Eduardo Santos Cavalcante que desde o primeiro dia de graduação, em 2010, sempre esteve ao meu lado, cuidando de mim, me apoiando e incentivando.

À minha família, Maria Aurenívia Castro da Cruz, Antônio Arimatea Rafael da Cruz (*in memoriam*), Reinaldo Célio Cardoso Praciano e Renan Castro Cardoso Praciano. Por todo apoio, carinho, cuidado, amor e compreensão.

A São Bento, por sua proteção e acolhimento nos meus momentos de aflição.

A Deus e à Nossa Senhora, por minha saúde física e mental, para que fosse possível chegar ao fim desse desafio.

“Combati o bom combate, terminei a corrida,
guardei a fé. Agora me está reservada a coroa
da justiça, que o Senhor, justo Juiz, me dará.”
(2 TIMÓTEO 4:7-8)

RESUMO

A inflação no Brasil, atingiu a maior taxa para o mês de agosto (0,87%) em 21 anos. Provocando sucessivos aumentos no gás de cozinha, comercializado atualmente no Ceará a R\$110,00 (Cento e dez reais). O biogás é uma fonte de energia limpa e renovável, que pode ser convertida em energia térmica e elétrica, e, portanto, pode ser uma alternativa viável na substituição da lenha e do gás de cozinha (GLP - Gás Liquefeito de Petróleo), comumente, utilizados para a cocção de alimentos na zona rural do Sul Global. A maioria dos habitantes do semiárido brasileiro, em destaque o cearense, encontram-se em situação de vulnerabilidade socioeconômica. A segurança energética, principalmente quando se trata da disponibilidade de energia térmica para cocção de alimentos, também interfere na segurança alimentar dessa população. Por isso, acredita-se que propor fontes alternativas, viáveis e eficientes, de energia térmica, como o uso de biodigestores para a produção de biogás, seja uma forma de melhorar a qualidade de vida das pessoas que residem em zonas rurais do interior do país. O objetivo dessa pesquisa foi propor o uso de biodigestores para produção de biogás, através de uma adaptação tecnológica, visando substituir o gás de cozinha, lenha e/ou carvão como fonte de energia térmica para a cocção de alimentos em casas de agricultores de agricultura familiar do semiárido cearense, com o intuito de mitigar a vulnerabilidade socioeconômica, melhorando a segurança energética e alimentar dessas famílias. Nesse sentido, utilizou-se um protótipo de biodigestor de pequeno porte, em regime de batelada, empregando como biomassa o esterco bovino fresco, sob 30 dias de retenção hidráulica. Para isso caracterizou-se a produção de biogás investigando os principais fatores capazes de inibir a produção de biogás, são eles: pH, temperatura, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, ácidos graxos voláteis (AVG), relação C/N, volume de biogás gerado e concentração de metano, também foi proposto um projeto conceitual em escala real. Como resultado dessa investigação construiu-se um protótipo de biodigestor capaz de produzir biogás de forma satisfatória. Também realizou-se a caracterização da produção de biogás que apresentou pH inicial de 6,86, durante o ciclo apresentou uma moda de 5,8 e ao final estabilizou em 7,20. A temperatura inicial foi de 30 °C, durante o ciclo apresentou uma média de 28,9 °C, e ao final 28 °C. O esterco bovino utilizado como biomassa possuía 8,1% de sólidos totais, 2,2 % de sólidos fixos e 5,8% de sólidos voláteis. A biomassa digerida apresentou 6,5% de sólidos totais, 1,6 % de sólidos fixos e 4,9% de sólidos voláteis. A concentração inicial de AGV foi de 58,32 mg HAc.L⁻¹ e a concentração final foi de 32,05 mg HAc.L⁻¹. A biomassa apresentou uma relação C/N de 13,28. O volume de biogás gerado foi de 1,56 L.L⁻¹. d⁻¹, com 65% de concentração de metano. O projeto conceitual proposto foi representado em desenho

computacional, orçado em R\$3.670,37 (Três mil, seiscentos e setenta reais e trinta e sete centavos), com um *payback* de 33 meses, considerando o consumo mensal de 1 botijão de gás de cozinha (GLP). Também foi realizada uma simulação de financiamento para o projeto em 36 prestações, de valores decrescente, sendo a primeira R\$125,02 (Cento e vinte e cinco reais e dois centavos), e a última R\$98,64 (Noventa e oito reais e sessenta e quatro centavos). E por tanto mostrou-se um projeto viável economicamente.

Palavras-chave: biogás; energia térmica; Forquilha.

ABSTRACT

Inflation in Brazil reached the highest rate for the month of August (0.87%) in the last 21 years. Causing successive increases in the price of cooking gas, currently sold in Ceará for R\$110.00 (One hundred and ten reais). Biogas is a source of clean and renewable energy, which can be converted into thermal and electrical energy, and therefore can be a viable alternative in replacing firewood and LPG (Liquefied Petroleum Gas), commonly used for cooking food in the rural areas of the Global South. The majority of the inhabitants of the Brazilian semi-arid region, especially in the state of Ceara, are in a situation of socioeconomic vulnerability. Energy security, especially when it comes to the availability of thermal energy for cooking food, also interferes with the food security of this population. Therefore, it is believed that proposing alternative sources of thermal energy, viable and efficient, such as the use of biodigesters for the production of biogas, is a way to improve the quality of life of people living in rural areas in the countryside. The aim of this research was to propose the use of biodigesters for the production of biogas, through a technological adaptation, in order to replace cooking gas, firewood and/or coal as a source of thermal energy for cooking food in homes of family farmers in the semi-arid region of Ceará, in order to mitigate socioeconomic vulnerability, improving the energy and food security of these families. In this sense, we used a prototype of a small biodigester, in batch mode, using as biomass fresh bovine manure, under 30 days of hydraulic retention. For this purpose, the biogas production was characterized by investigating the main factors capable of inhibiting the production of biogas, namely: pH, temperature, total solids, fixed solids, volatile solids, volatile fatty acids (VFA), C/N ratio, volume of biogas generated and methane concentration. As a result of this investigation a prototype biodigester capable of producing biogas in a satisfactory manner was built. The characterization of the biogas production was also performed. The initial pH was 6.86, during the cycle it presented a mode of 5.8 and at the end it stabilized at 7.20. The initial temperature was 30°C, during the cycle it presented an average of 28.9°C, and at the end 28°C. The bovine manure used as biomass had 8.1% of total solids, 2.2% of fixed solids and 5.8% of volatile solids. The digested biomass presented 6.5% of total solids, 1.6% of fixed solids and 4.9% of volatile solids. The initial VFA concentration was 58.32 mg HAc.L⁻¹ and the final concentration was 32.05 mg HAc.L⁻¹. The biomass presented a C/N ratio of 13.28. The volume of biogas generated was 1.56 L.L⁻¹. d⁻¹, with 65% methane concentration. The proposed conceptual project was represented in a computational drawing, budgeted at R\$3,670.37 (Three thousand, six hundred and seventy reais and thirty-seven cents), with a payback period of 33 months, considering the monthly

consumption of 1 bottled of cooking gas (LPG). It was also performed a financing simulation for the project in 36 installments, of decreasing values, being the first R\$125.02 (One hundred and twenty-five reais and two cents), and the last R\$98.64 (Ninety-eight reais and sixty-four cents). And so, it proved to be an economically viable project.

Keywords: biogas, thermal energy, Forquilha

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO	12
2.1	Objetivo específicos	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	Biogás	13
3.1.1	<i>Digestão anaeróbica</i>	14
3.1.2	<i>Fatores que afetam a produção de biogás</i>	14
3.1.2.1	<i>Valor de pH</i>	15
3.1.2.2	<i>Temperatura</i>	15
3.1.2.3	<i>Tempo de retenção hidráulica</i>	16
3.1.2.4	<i>Tamanho das partículas</i>	16
3.1.2.5	<i>Relação C/N</i>	16
3.1.2.6	<i>Substâncias tóxicas</i>	17
3.1.2.7	<i>Taxa de carga orgânica</i>	17
3.1.2.8	<i>Ácidos graxos voláteis (AGV)</i>	18
3.1.3	<i>Biodigestores</i>	18
3.1.4	<i>Biofertilizante</i>	20
3.1.5	<i>Purificação de biogás</i>	22
3.1.6	<i>Esterco: matéria orgânica para gerar biogás</i>	24
3.1.7	<i>Emissão dos gases do efeito estufa (GEE) na agropecuária</i>	25
3.1.7.1	<i>Acordo de Paris 2015</i>	26
3.1.7.2	<i>Agenda 2030</i>	27
3.1.7.3	<i>RenovaBio</i>	28
3.1.7.4	<i>Ceará 2030</i>	29
3.2	Agricultura familiar	30
3.2.1	<i>Agricultura familiar no Ceará</i>	31
3.3	Semiárido brasileiro	32
3.3.1	<i>Bioma caatinga</i>	32
3.3.1.1	<i>Desmatamento da caatinga</i>	34
3.3.2	<i>Vulnerabilidade socioeconômica</i>	35
3.3.3	<i>Forquilha: local de estudo</i>	35
3.4	Viabilidade econômica de projeto	35
3.5	Projeto conceitual	37
4	MATERIAL E MÉTODO	39
4.1	Local do estudo	39
4.2	Sistema para produção do biogás	40
4.3	Caracterização do consumo e demanda de energia térmica das residências rurais de agricultura familiar do município de Forquilha	42
4.4	Etapas metodológica para caracterização da produção de biogás	42
4.5	Projeto conceitual de biodigestores em escala real	43
4.5.1	<i>Dimensionamento do biodigestor</i>	43
4.5.2	<i>Projeto conceitual do biodigestor em escala real</i>	44
4.5.3	<i>Avaliação da viabilidade econômica do projeto conceitual</i>	44
4.5.3.1	<i>Linha de crédito para financiamento do projeto conceitual proposto</i>	44
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	46
5.1	Caracterização do consumo e demanda de energia térmica	46

5.1.1	<i>Impacto da pandemia de Covid 19 nas famílias de agricultura familiar do município de Forquilha.....</i>	48
5.2	Caracterização da produção de biogás.....	48
5.2.1	<i>Monitoramento do pH.....</i>	49
5.2.2	<i>Monitoramento da temperatura.....</i>	51
5.2.3	<i>Determinação da concentração de sólidos.....</i>	51
5.2.4	<i>Concentração de ácido graxo voláteis.....</i>	52
5.2.5	<i>Relação Carbono Nitrogênio (C/N)</i>	53
5.2.6	<i>Volume de biogás e concentração de metano.....</i>	53
5.3	Projeto conceitual.....	54
5.3.1	<i>Dimensionamento do volume do biodigestor em escala real.....</i>	56
5.3.2	<i>Projeto conceitual do biodigestor em escala real.....</i>	56
5.3.2.1	<i>Avaliação econômica do projeto conceitual proposto.....</i>	57
6	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	ANEXO A – REPRESENTAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL EM DESENHO TÉCNICO COMPUTACIONAL.....	74

1 INTRODUÇÃO

A compostagem dos resíduos gerados pela agricultura é uma tecnologia capaz de mitigar os efeitos nocivos dos GEEs (Gases do Efeito Estufa), gerar energia e biofertilizante para a nutrição do solo, de forma limpa, renovável e de baixo custo, através do uso de reatores químicos, como biodigestores (MANESH; REZAZADEH; KABIRI, 2020; HIJAZI *et al.*, 2020). O esterco gerado pela agricultura familiar possui pouco ou nenhum valor agregado, habitualmente, essa matéria orgânica é utilizada apenas para a nutrição do solo, podendo ser substituída pelo biofertilizante gerado após o processo de geração do biogás, que possui melhor qualidade e disponibilidade de nutrientes.

O Nordeste brasileiro é a região de clima semiárido mais populosa do mundo, com aproximadamente 22 milhões de habitantes (MARÇAL *et al.*, 2019). As condições limitantes do clima são fatores importantes que influenciam na evolução da situação de vulnerabilidade econômica, alimentar e energética, a qual essa população é exposta. Tornando-se essencial buscar ações e tecnologias de convivência com semiárido, que atenuem essas condições de vulnerabilidade (VIEIRA *et al.*, 2020).

Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil o uso de lenha e/ou carvão para cocção de alimentos é uma prática frequente, isso se deve ao baixo poder aquisitivo das famílias (GIODA, 2019). Supõe-se que o uso de biodigestores seja uma tecnologia de convivência com o semiárido viável para mitigar a vulnerabilidade energética nas residências de agricultura familiar. Tendo como hipótese que o biogás gerado a partir da fermentação anaeróbica do esterco dos animais criados pelos agricultores familiares, seja capaz de substituir a energia térmica utilizada na cocção de alimentos dessas famílias.

A pecuária exercida pela agricultura familiar, geralmente, animais em pequena quantidade, são criados em sistema semi-intensivo, ou seja, soltos durante o dia e confinados a noite (SOUZA *et al.*, 2019). Dessa forma, somente parte do esterco produzido por esses animais pode ser aproveitado. A quantidade reduzida de animais criados por essas famílias, atrelado ao sistema de criação, reduz significativamente a disponibilidade de biomassa para a geração de biogás, por isso, pensou-se em desenvolver um biodigestor que atendesse a essas famílias, que, em grande parte, vivem em condições de vulnerabilidade econômica e social.

O objetivo dessa pesquisa foi propor o uso de biodigestores para produção de biogás, através de uma adaptação tecnológica, visando substituir o gás de cozinha, lenha e/ou carvão como fonte de energia térmica para a cocção de alimentos em casas de agricultores de

agricultura familiar do semiárido cearense, com o intuito de mitigar a vulnerabilidade socioeconômica, melhorando a segurança energética e alimentar dessas famílias.

2 OBJETIVO

O objetivo dessa pesquisa foi propor o uso de biodigestores para produção de biogás, através de uma adaptação tecnológica, visando substituir o gás de cozinha, lenha e/ou carvão como fonte de energia térmica para a cocção de alimentos em casas de agricultores de agricultura familiar do semiárido cearense, com o intuito de mitigar a vulnerabilidade socioeconômica, melhorando a segurança energética e alimentar dessas famílias.

2.1 Objetivos específicos

- Construir um protótipo de biodigestor com reator químico de 200 L;
- Caracterizar a produção de biogás nas condições climáticas do Ceará, através da avaliação dos principais fatores capazes de inibir a produção de biogás, sendo estes o pH, temperatura, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, ácidos graxos voláteis (AVG) e relação C/N;
- Caracterizar o consumo de energia térmica para cocção de alimentos de uma família da agricultura familiar do semiárido nordestino, utilizando como referência famílias de agricultura familiar de um município do semiárido cearense;
- Propor um projeto conceitual de biodigestor em escala real, capaz de atender a demanda energética de uma família da agricultura familiar do semiárido cearense;
- Avaliar a viabilidade econômica do projeto conceitual proposto.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Biogás

Em reatores químicos, denominados de biodigestores, a biomassa (matéria orgânica) é decomposta pela atividade bacteriana anaeróbica, o resultado é uma mistura gasosa com elevados teores de metano (CH_4 ; 50 - 75%) e dióxido de carbono (CO_2 ; 25 - 45%) que pode ser utilizada como combustível e convertido em energia elétrica e térmica (SIEGMEIER; BLUMENSTEIN; MÖLLER, 2015). O biogás é produzido anaerobiamente pela decomposição da matéria orgânica, tais como biomassa vegetal, esterco animal, resíduos agroindustriais, lodo do tratamento de água residuais e outras fontes de resíduos orgânicos em um processo biológico chamado de digestão anaeróbica (DA). Este processo é mediado por microrganismos metanogênicos, mesofílicos e termofílicos (ARYAL *et al.*, 2018).

A produção de biogás tem um papel considerável na gestão de resíduos, porém não é 100% livre de gases do efeito de estufa, no entanto, não contribui para o aquecimento global, pelo contrário, ajuda a combatê-lo pois o metano pode ser queimado de forma mais limpa que o carvão, e pode fornecer energia desejada com níveis limitados de emissão de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera (BHARATHIRAJA *et al.*, 2018). O carbono liberado pelo biogás pode ser absorvido por plantas fotossintéticas adicionando menos carbono atmosférico total do que a queima de combustíveis fósseis. O uso do biometano reduz a poluição da água, do solo e do ar não só porque elimina a poluição relacionada com os combustíveis fósseis as também pela redução do risco de acidentes potencialmente devastadores (BHARATHIRAJA *et al.*, 2018).

Geralmente, o biogás contém uma mistura de CH_4 (40 - 60%) e CO_2 (60 - 40%), vestígios de ácido Sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3), H_2 (hidrogênio), oxigênio (O_2), nitrogênio (N_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos, compostos orgânicos voláteis (COV) e siloxanos (ARYAL *et al.*, 2018). Em processos anaeróbios de degradação do carbono orgânico, o biogás é gerado em um processo complexo que envolve quatro fases: 1^a - hidrólise, 2^a - acidogênese, 3^a - cetogênese / desidrogenação e 4^a - metanogênese, todas realizadas por interação sintrófica de diferentes consórcios bacterianos como mostrado (ARYAL *et al.*, 2018). Alguns anaeróbios facultativos, por exemplo Ruminococcus, Paenibacillus, Streptococci convertem monômeros solúveis em vários produtos metabólicos solúveis e gasosos, por exemplo, AGVs, álcoois, CO_2 e H_2 (ARYAL *et al.*, 2018). Da mesma forma, na acidogênese, alguns anaeróbios facultativos, por exemplo, Clostridium, Ruminococcus, Paenibacillus,

Streptococci convertem monômeros solúveis em vários produtos metabólicos gasosos e solúveis, ou seja, álcool, AGV, CO₂ e H₂. Posteriormente, na acidogênese, micróbios como Aminobacterium, Acidaminococcus, Desulfovibrio convertem monómeros em ácido acético e H₂. Finalmente, na etapa de metanogênese, o CH₄ é produzido a partir de archaea metanogênica hidrogenotrófica utilizando H₂ e CO₂ ou por archaea metanogênica acetilástica via consumo de ácido acético (ARYAL *et al.*, 2018).

3.1.1 Digestão anaeróbica

O primeiro estudo sobre a digestão anaeróbia foi realizado por Alessandro Volta que estudou a relação entre a carga e o gás de produção orgânica em 1776, mais tarde, em 1804-1808, John Dalton e Humphrey Davy descobriram que o gás combustível gerado a partir da decomposição de materiais orgânicos era metano (NESHAT *et al.*, 2017). A digestão anaeróbica é o processo biológico responsável pela produção de biogás, onde a matéria orgânica é degradada por bactérias sob condições anaeróbicas. A composição do biogás depende da biomassa utilizada e das condições de biodigestão (NESHAT *et al.*, 2017).

A produção de metano é conduzida por dois grupos de microrganismos metanogênicos, a composição da comunidade de metanogênicos é semelhante ao consórcio microbiano do estômago dos animais ruminantes (NESHAT *et al.*, 2017). Methanobacterium, Methanobacillus, Methanococcus, Methanotherix e Methanosarcina são os principais microrganismos responsáveis pela produção de metano na digestão anaeróbica (NESHAT *et al.*, 2017). Todos os metanogênicos são archaea e anaeróbios estritamente obrigatórios, e, portanto, são muito sensíveis ao oxigênio e crescem muito bem na presença de H₂ e CO₂ (NESHAT *et al.*, 2017). Methanosarcina e Methanotherix estão entre o número limitado de microrganismos que são capazes de converter o acetato em metano e dióxido de carbono, os outros são metanogênicos que utilizam hidrogênio (NESHAT *et al.*, 2017).

3.1.2 Fatores que afetam a produção de biogás

O processo de digestão anaeróbica depende de diversos fatores para que obtenha resultados satisfatórios. Condições estáveis são necessárias para maximizar o desempenho da comunidade microbiana responsável pela produção de biogás dentro do biodigestor. A seguir estão elencados alguns fatores que podem prejudicar o processo produtivo de biogás.

3.1.2.1 Valor de pH

A concentração de pH tem uma influência importante na digestão anaeróbica, pois afeta a solubilização das matérias orgânicas (SIDDIQUE; WAHID, 2018). As reações enzimáticas da comunidade microbiana responsável pelo processo de geração de biogás dependem do valor do pH, portanto este valor pode indicar se o ambiente é favorável ao desenvolvimento destes microrganismos, e conseqüentemente a geração de biogás. Para obter o máximo rendimento de metano os valores de pH devem se manter entre 6,8 e 7,2 (SIDDIQUE; WAHID, 2018).

Na hidrólise e acidogênese os microrganismos preferem pH dentro da faixa de 5,5 e 6,5, porém para o desenvolvimento ótimo dos microrganismos envolvidos na etapa de metanogênese o pH ideal deve estar próximo a 7,0 (YAO *et al.*, 2017). Para oferecer a concentração ideal de pH em diferentes etapas alguns biodigestores possuem uma separação interna que divide o processo em duas etapas principais, na primeira separação ocorre a fase acidogênica e na segunda partição a fase metanogênica (GAROMA; PAPPATERRA, 2018). A produção de AGVs nos estágios iniciais da digestão reduz o pH do digestor e inibe a atividade metanogênica dos microrganismos, para corrigir esse problema a adição de compostos químicos alcalinos, como o CaCO_3 , pode ser uma alternativa (SIDDIQUE *et al.*, 2015).

3.1.2.2 Temperatura

Segundo Rosińska e Karwowska (2017), existem três faixas diferentes de temperatura nas quais a digestão anaeróbica pode ser realizada: psicrófila (25°C), termófila (aproximadamente 55°C) e mesófila (aproximadamente 35°C). Entre estas, as condições mesofílicas e termofílicas são as mais praticadas (SIDDIQUE; WAHID, 2018). O processo mesofílico é o mais estável em comparação ao processo termofílico, por possuir uma variedade maior de microrganismos (YANG *et al.*, 2018). O volume de biogás aumenta com o aumento da temperatura, porém a concentração de metano é reduzida (DAI *et al.*, 2017). A faixa ideal de temperatura para obter uma produção de biogás com concentração estável e contínua de metano compreende o intervalo de 32° à 35°C (DAI *et al.*, 2017). Segundo Siddique e Wahid (2018), o aumento de temperatura provoca uma redução da solubilidade de CO_2 , nos biodigestores mesofílicos, o CO_2 pode dissolver-se rapidamente e produzir ácido carbônico, que ao reagir com a água aumenta a acidez do meio, prejudicando o processo de geração de biogás. Dessa

forma Siddique e Wahid (2018), afirma que a temperatura é um fator crítico para o crescimento de micróbios e, portanto, para a geração de biogás.

3.1.2.3 Tempo de retenção hidráulica

É denominado de Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) o período de tempo necessário para que os microrganismos responsáveis pela digestão anaeróbia consumam e sintetizem a matéria orgânica utilizada para gerar biogás (SIDDIQUE; WAHID, 2018). TRH longos podem levar a morte os microrganismos por falta de nutrientes (SIDDIQUE; WAHID, 2018). Adicionar água a matéria orgânica pode reduzir o período de TRH, porém deve-se ter cuidado, pois reduzir o TRH pode causar a eliminação dos microrganismos, caso o TRH seja menor que o tempo de geração de microrganismos (SIDDIQUE; WAHID, 2018). Xie *et al.* (2017) descobriram que a concentração de AGV e a alcalinidade aumentavam com o aumento da TRH e vice-versa, além disso, dependendo do limite de temperatura desejável e da natureza dos micróbios, a TRH ótima pode variar para diferentes processos de digestão anaeróbica. O TRH para esterco de animais domésticos varia de 20 a 30 dias. Quanto menor a temperatura de funcionamento do biodigestor, maior será o tempo de retenção hidráulica. E existem três modos alternativos de operação: temperaturas abaixo de 20° C retenção de 70 a 80 dias (condições psicrófilas), entre 30° e 42° C por 30 a 40 dias (Condições mesofílicas) ou 42° e 46° C durante 15 a 20 dias (condições termofílicas) (LEON & MARTÍN, 2016).

3.1.2.4 Tamanho das partículas

O tamanho da partícula da matéria orgânica também interfere no processo de digestão anaeróbica. Partículas maiores (> 3 cm) podem tornar o processo de digestão mais difícil, pois quanto menor a partícula, maior a área de contato, o que ajuda o microrganismo a trabalhar mais rapidamente, principalmente na etapa da hidrólise (SIDDIQUE; WAHID, 2018). Agyeman e Tao (2014) aumentaram a taxa de produção de metano de 10 a 29%, diminuindo o tamanho das partículas de 8 para 2,5 mm.

3.1.2.5 Relação C/N

A matéria orgânica com relação C/N ótima atende à necessidade dos microrganismos e maximiza a produção de biogás. Valores de C/N baixos provocam maiores

concentrações de amônia e impedem o crescimento da comunidade microbiana, porém quando a relação C/N é muito elevada são geradas grandes quantidades de AGVs, dessa forma manter uma relação C/N adequada é importante no processo de digestão anaeróbica (SIDDIQUE; WAHID, 2018). A relação C/N adequada está na faixa de 20-30, valores fora desse intervalo podem causar efeitos negativos ao desempenho da digestão (CHOONG; CHOU; NORLI, 2018).

Embora a digestão anaeróbica seja uma alternativa para o manejo de esterco, promovendo saneamento rural desse material, a baixa relação C/N dos estercos animais pode não satisfazer totalmente os requisitos de digestão anaeróbica (NESHAT *et al.*, 2017). Portanto, para sanar esse problema, tem-se como alternativa, adicionar outro substrato rico em carbono para ser co-digerido com o esterco, que compensará a deficiência de carbono e melhorará suas características para a digestão anaeróbica. Esse substrato deve possuir um alto teor de carbono e baixo teor de nitrogênio, entre as matérias primas possíveis, os resíduos lignocelulósicos se mostram bastante promissores, pois possuem elevado teor de carbono e encontra-se abundantemente disponíveis (NESHAT *et al.*, 2017).

3.1.2.6 Substâncias tóxicas

Para o sistema de digestão anaeróbica, as substâncias que ameaçam ou inibem o microrganismo para crescimento serão geralmente consideradas tóxicas (CHOONG; CHOU; NORLI, 2018). As faixas de concentração de inibição variam amplamente para substâncias tóxicas específicas (CHEN; CHENG; CREAMER, 2008). Os parâmetros que afetam a toxicidade de compostos orgânicos incluem concentração de tóxicos, tempo de exposição a substâncias tóxicas, idade celular, padrão, aclimatação e temperatura (CHEN; CHENG; CREAMER, 2008). Em concentrações mais baixas, a biodegradação de alguns tóxicos pode impedir a inibição, já concentrações mais elevadas de substâncias tóxicas geralmente levam à inibição significativa dos processos anaeróbicos (CHEN; CHENG; CREAMER, 2008). Com maior concentração de biomassa, os reatores exibem maior estabilidade do processo na presença de tóxicos. Em concentrações iguais de sólidos, as culturas mais jovens mostraram-se mais robustas e resistentes aos tóxicos do que as culturas mais antigas (CHEN; CHENG; CREAMER, 2008).

3.1.2.7 Taxa de carga orgânica

A taxa de carga orgânica mostra a quantidade de sólidos orgânicos secos que são carregados por volume no biodigestor, por tempo (NESHAT *et al.*, 2017). A carga orgânica é um fator importante para o desenvolvimento dos microrganismos e de sua atividade ótima (NESHAT *et al.*, 2017). A maior quantidade de microrganismos responsáveis pela hidrólise e acidogênese em comparação com os microrganismos da metanogênese, são responsáveis pela alta quantidade de matéria orgânica no sistema (NESHAT *et al.*, 2017). A maior taxa de carga orgânica aumenta as diferentes espécies microbianas, no entanto, quando essa taxa é aumentada, ocorre um maior acúmulo de AGVs e etanol, que acaba por resultar na inativação das bactérias, devido ao baixo pH (NESHAT *et al.*, 2017). Para a produção de biogás, 4 kg de sólidos secos por metro cúbico adicionados no biodigestor por dia foram relatados como a taxa mais alta que os microrganismos podem tolerar (NESHAT *et al.*, 2017).

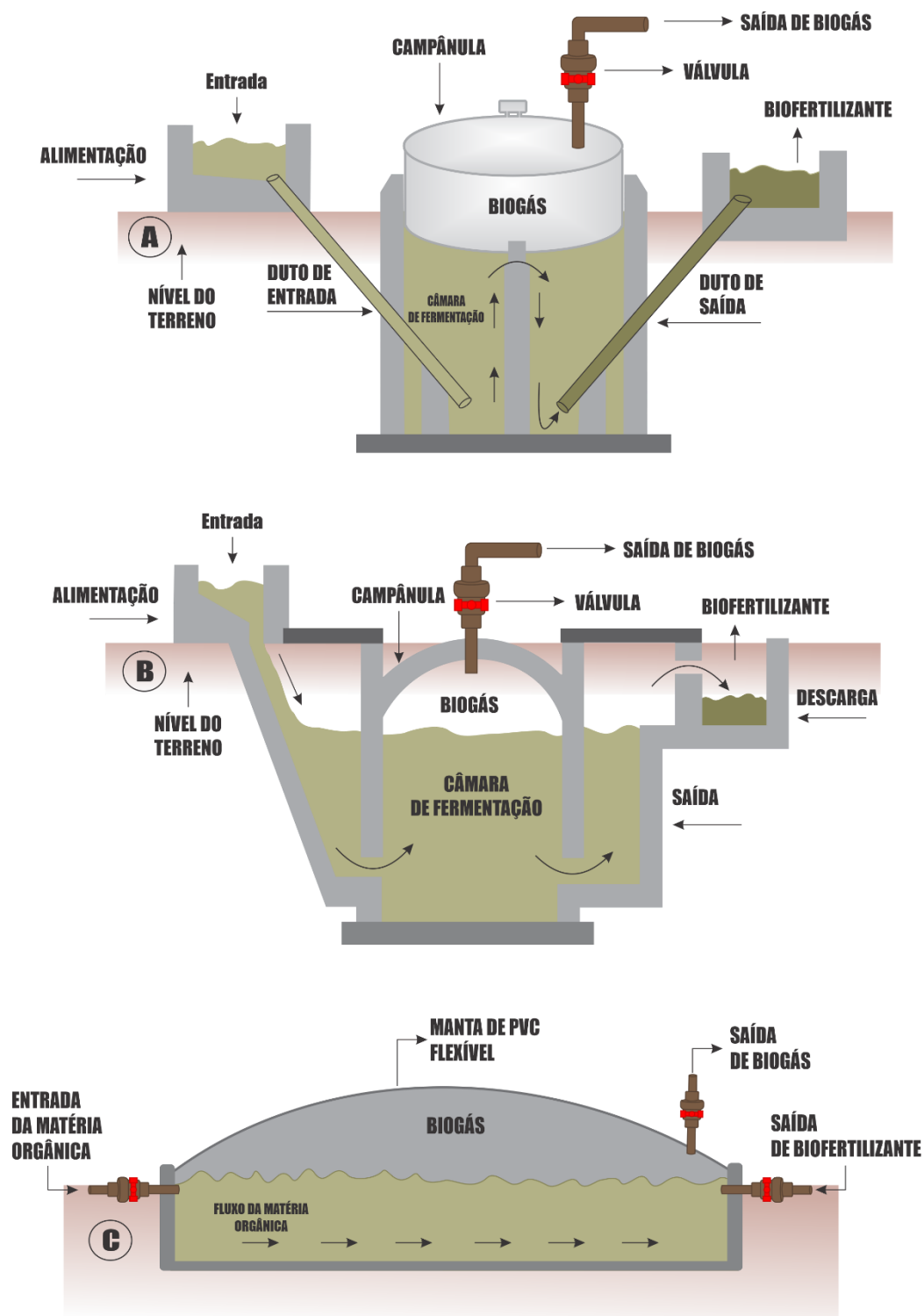
3.1.2.8 Ácidos graxos voláteis (AGV)

Os ácidos graxos voláteis (AGV) são os produtos intermediários que configuram o caminho de produção de metano (NESHAT *et al.*, 2017). Ácido acético, ácido butírico e ácido propiônico são os principais produtos da digestão anaeróbica (NESHAT *et al.*, 2017). Estes ácidos são indicadores de digestão anaeróbica e podem ser utilizados para avaliação do desempenho da digestão anaeróbica, no entanto, o acúmulo desses ácidos orgânicos pode reduzir o nível de pH para abaixo de 6, consequência deste baixo pH é a inativação de microrganismos metanogênicos (NESHAT *et al.*, 2017). Uma concentração de cerca de 1500 a 2000 mg/L de AGVs pode possivelmente inibir a digestão anaeróbica (NESHAT *et al.*, 2017). O uso de esterco com alta capacidade alcalina pode neutralizar substancialmente os ácidos (NESHAT *et al.*, 2017).

3.1.3 Biodigestores

A digestão anaeróbica tem sido uma alternativa utilizada há bastante tempo para o fornecimento de energia, principalmente em países asiáticos como a China e a Índia. Existem muitas configurações de biodigestores para a produção de biogás, entre estas, existem três que são mais utilizadas e mais eficientes, que são denominadas de indiano (tambor flutuante), chinês (cúpula fixa) e o biodigestor tubular (NESHAT *et al.*, 2017). A representação esquemática desses biodigestores é ilustrada na Figura 1.

Figura 1 - Biodigestores convencionais para produção de biogás: (a) Biodigestor Indiano, (b) Biodigestor Chinês e (c) Biodigestor Tubular.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os biodigestores anaeróbicos convencionais são construídos com base muito simples, eles fornecem uma câmara de reação anaeróbica em que o afluente é retido para um

TRH definido e após a conclusão da digestão é descarregado da câmara (NESHAT *et al.*, 2017). O biogás produzido é coletado e queimado como combustível para aquecimento e produção de eletricidade (NESHAT *et al.*, 2017). Esses tipos de biodigestores ainda são bastante adotados em países do terceiro mundo, como Índia e países africanos. A China está entre os principais países na produção de biogás (NESHAT *et al.*, 2017). Os países europeus e os Estados Unidos estão utilizando essa tecnologia para o tratamento anaeróbico de águas residuais e a produção de biogás como combustível, porém para este fim tem-se adotado o uso de reatores modernos que possibilitam o tratamento de uma maior variedade de resíduos, com diferentes características (NESHAT *et al.*, 2017). O tratamento de águas residuais e efluentes com alto teor de sólidos pode ser bem tratado em reatores de tanque agitado (CSTR - *continuous stirred tank reactor*) e reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que trata-se de um reator anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência, normalmente, o reator UASB é utilizado em processos primários para a estabilização da matéria orgânica inicial (NESHAT *et al.*, 2017).

3.1.4 Biofertilizante

Após o processo de digestão anaeróbica a matéria orgânica gera dois produtos: o biogás e um efluente, esse último, trata-se da matéria orgânica digerida (HACKL *et al.*, 2018). Na geração de biogás produzido a partir de materiais agrícolas, como o esterco de animais e restos de culturas, esse efluente é denominado de biofertilizante, pois o mesmo é rico em nutrientes, permitindo que o seu uso substitua o fertilizante mineral, suprimindo a necessidade nutricional do solo gerada pela exportação de nutrientes (HACKL *et al.*, 2018).

Em 2004, foi aprovado o Decreto nº 4954 de 14/01 que regulamenta a Lei nº 6894, de 16/12/80 (BRASIL, 2004). Este decreto define o fertilizante: substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas, sendo: fertilizantes orgânicos “produtos de natureza fundamentalmente orgânica, obtidos por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais”.

Quadros *et al.* (2009), realizou em seus estudos a avaliação da concentração de macronutrientes do biofertilizante gerado no processo de produção de biogás em um biodigestor de PVC, a partir de dejetos de caprinos e ovinos. O resultado desta pesquisa encontra-se elencado na Tabela 1.

Tabela 1 - Concentração de macronutrientes do biofertilizante de ovinos e caprinos

	Biofertilizante de Dejetos de Caprino e Ovinos		
	Média	EP	CV%
N (mg L ⁻¹)	557	74,2	23,1
P (mg L ⁻¹)	28	1,03	6,49
K (mg L ⁻¹)	2103	46,7	3,84
pH	7,50	0,06	1,33
CE	5,43	0,07	2,13

*N – nitrogênio, P – fósforo, K – potássio, pH – potencial hidrogeniônico, CE – condutividade elétrica; EP – erro padrão da média; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Adaptado de Quadros *et al.* (2009)

Angonese *et al.* (2006), avaliou a concentração de macronutrientes do biofertilizante gerado a partir dos dejetos de suínos, após geração de biogás. Os resultados desta pesquisa estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentração de macronutrientes do biofertilizante de suínos

	Concentração média	
	Biofertilizante líquido	Biofertilizante concentrado
Nitrogênio Total (g 100 g ⁻¹)	0,0067	0,130
Fósforo (P ₂ O ₅) (g 100 g ⁻¹)	0,0213	0,070
Potássio (K ₂ O) (g 100 g ⁻¹)	0,0014	0,050

Fonte: Angonese *et al.* (2006).

Praciano (2017), avaliou a concentração de macronutrientes do biofertilizante gerado após o processo de geração de biogás em um biodigestor de PVC, a partir de dejetos de bovinos. Os resultados dessa análise encontram-se elencado na Tabela 3.

Tabela 3 - Concentração de macronutrientes do biofertilizante de bovinos

	Concentração média
Nitrogênio Total (gL ⁻¹)	0,60
Fósforo (P ₂ O ₅) (gL ⁻¹)	0,11
Potássio (K ₂ O) (gL ⁻¹)	0,36
pH	7,9
CE (dSm ⁻¹)	3,97

Fonte: Praciano (2017).

3.1.5 Purificação de biogás

O biogás possui em sua composição algumas impurezas, tais como H₂S, CO₂, H₂O, e componentes residuais como siloxanos, halocarbonetos, N₂, O₂ (GAO *et al.*, 2018). Essas impurezas reduzem o poder calorífico do biogás. O valor calorífico é o parâmetro adotado para expressar a eficiência de um combustível, em geral o poder calorífico do biogás é de 21,5 MJm⁻³, enquanto que o do gás natural é de 35,8 MJm⁻³, isso se deve a parte não-combustível do biogás, que em grande parte é composta pelo CO₂ (SAHOTA *et al.*, 2018).

Para reduzir e controlar os níveis de impurezas do biogás faz-se necessário a adoção de tecnologias de purificação do biogás. Existem diversas alternativas para a purificação do biogás. Angelidaki *et al.* (2018) cita as seguintes opções de tecnologia de purificação de biogás:

- **Tecnologias físicas e químicas:** Método de absorção física usando sistema de lavagem em água, Método de absorção física usando solventes orgânicos, Método de absorção química usando soluções de amina, Adsorção com oscilação de pressão, Processo de separação criogênica, Processo de hidrogenação química e Separação por membrana.
- **Tecnologias Biológicas:** Métodos quimiotróficos, Melhoria biológica de biogás in situ, Melhoramento biológico ex-situ do biogás, Comunidades microbianas em sistemas biológicos de melhoramento de biogás, Métodos fotoautotróficos, Melhoria do biogás através de outros processos de fermentação e Métodos eletroquímicos microbianos.

A lavagem em água é a tecnologia mais utilizada para purificar o biogás (ANGELIDAKI *et al.*, 2018), por ser um método simples, eficiente e de baixo custo. Esse processo se destaca dentre as outras alternativas, principalmente quando o público alvo é o setor agrícola, especificamente a agricultura familiar.

Mattos e Farias Junior (2011), apresentam três filtros artesanais, de fácil construção, baixo custo e eficiente purificação. O primeiro é um filtro de purificação por lavagem em água, apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Filtro de lavagem em água



Fonte: Mattos e Farias Junior (2011)

O segundo é o filtro com palha de aço (Figura 3), esse filtro tem como principal objetivo remover o H_2S do biogás, através da seguinte reação química:

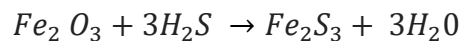


Figura 3 – Filtro de palha de aço



Fonte: Mattos e Farias Junior (2011)

O terceiro é um filtro de drenagem (Figura 4), o objetivo desse equipamento é remover a umidade do biogás através da diferença de densidade, a água por possuir maior densidade que os gases constituintes do biogás, a água decanta no filtro, que possui um volume de água que impede o vazamento do biogás.

Figura 4 – Dreno de remoção de umidade



Fonte: Mattos e Farias Junior (2011)

3.1.6 Esterco: matéria orgânica para gerar biogás

Segundo o último censo agropecuário (IBGE, 2017), o Ceará possui 394.330 estabelecimentos agropecuários, e ocupam uma área de 6.908.179 ha, 90% desses estabelecimentos são de agricultura familiar.

Na Tabela 4 estão elencados a população de animais de produção dos estabelecimentos rurais do estado do Ceará (IBGE, 2017).

Tabela 4 - População de Animais de Produção do Ceará

Espécies	Nº de Estabelecimentos	Nº de Cabeças
Bovinos	112.839	1.892.771
Bubalinos	41	1.092
Equinos	37.025	76.903
Asininos	36.961	53.233
Muare	27.056	37.918
Caprinos	39.490	879.947
Ovinos	58.399	1.813.037
Suínos	113.878	768.003
Galinhas	236.604	28.631.779
Coelhos	311	2.255

Fonte: IBGE (2006)

O Esterco dos animais de produção possui características interessantes para a produção de biogás, pois além de possuir uma quantidade de matéria orgânica interessante para o processo de digestão anaeróbica, o esterco animal possui também uma comunidade microbiana bastante diversificada (NESHAT *et al.*, 2017).

Quadros (2009), faz recomendações sobre a concentração de água que deve ser misturada ao esterco, para esterco bovino a concentração de água é de 1 litro de água para cada quilograma de esterco, para esterco suíno a concentração é de 1,3 L para 1kg, já o esterco de ovinos e caprinos devem passar por hidratação de 24h, além de ser recomendável o esmagamento das cíbalas, a concentração de água para esse tipo de esterco é de 4 L para cada kg de esterco.

A Tabela 5 apresenta a quantidade de esterco gerado anualmente, considerando 450 Kg de peso vivo por espécie.

Tabela 5 - Produção de Esterco Anual por Espécie (450 Kg de peso vivo)

Espécies	Toneladas de esterco por ano	Média de produção de Esterco (em kg por dia)
Bovino	8,5	10
Vacas Leiteiras	12	10
Ovinos e Caprinos	6	0,360
Suínos	16	2,25
Equinos	8	10,00
Aves	4,5	0,18

Fonte: Adaptado de QUADROS (2009) e COLATTO e LANGER (2012).

A Tabela 6 mostra o potencial de produtividade de biogás a partir de esterco e a concentração de metano, por espécies de animais (Quadros, 2009).

Tabela 6 - Potencial de Produção de Biogás a Partir de Esterco de Animais.

Biomassa utilizada (Esterco)	Produtividade de Biogás (A partir de material seco em m ³ /t)	Percentual de gás metano produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Fonte: Adaptado de QUADROS (2009) e COLATTO e LANGER (2012).

3.1.7 Emissão dos gases do efeito estufa (GEE) na agropecuária

O setor agropecuário é responsável pela emissão de diferentes GEEs, esses gases são categorizados em não-CO₂ e emissão de CO₂ (CARO, 2018). Os gases que ocupam a categoria de não-CO₂ são aqueles que são emitidos através dos processos vitais dos animais, por exemplo, as emissões de CH₄ são liberadas através da fermentação entérica, que se trata do processo digestivo que ocorre nos animais ruminantes, esses gases emitidos são resultados da fermentação microbiana que ocorre no estômago desses animais (CARO, 2018). O CH₄ também é emitido no armazenamento e tratamento do esterco fresco, também existe emissão de GEEs no descarte de esterco. O metano da fermentação entérica e do manejo do esterco representa cerca de 65% e 7%, respectivamente, do total de emissões de não-CO₂ do setor agrícola (CARO, 2018).

As emissões de N₂O deste setor ocorrem de forma direta e indireta, através do manejo, armazenamento e tratamento do esterco, através das perdas de nitrogênio volátil, nas formas de amônia e nox (número de oxidação), o nitrogênio também é liberado através do escoamento e lixiviação dos solos, gerados a partir do armazenamento de esterco sólido em áreas externas, confinamentos e o esterco depositado no solo durante o pastejo, o N₂O emitido da gestão de estrume representa 22% do total de não CO₂ deste setor (CARO, 2018).

As emissões de CO₂ são provenientes do uso do solo e são responsáveis por 35% do total de emissões de GEE do setor pecuário (CARO, 2018). A emissão de CO₂ depende do uso da terra para produzir gado, devido a conversão de florestas em pastagens para animais e para a produção agrícola para alimentação animais, afetando a quantidade de biomassa existente (CARO, 2018).

3.1.7.1 Acordo de Paris 2015

O Acordo de Paris é um tratado mundial que tem como objetivo reduzir o aquecimento global. Ele foi tratado entre 195 países durante a COP21, em Paris. O compromisso internacional foi aprovado em 12 de dezembro de 2015 e entrou em vigor oficialmente no dia 4 de novembro de 2016 (CEBDS, 2019).

O principal objetivo do Acordo de Paris é reduzir as emissões de gases de efeito estufa para limitar o aumento médio de temperatura global a 2°C, quando comparado a níveis pré-industriais (CEBDS, 2019). A seguir estão listadas algumas metas e orientações que também são elencadas no acordo, tais como:

- Esforços para limitar o aumento de temperatura a 1,5°C;

- Recomendações quanto à adaptação dos países signatários às mudanças climáticas, em especial para os países menos desenvolvidos, de modo a reduzir a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos;
- Estimular o suporte financeiro e tecnológico por parte dos países desenvolvidos para ampliar as ações que levam ao cumprimento das metas para 2020 dos países menos desenvolvidos;
- Promover o desenvolvimento tecnológico e transferência de tecnologia e capacitação para adaptação às mudanças climáticas;
- Proporcionar a cooperação entre a sociedade civil, o setor privado, instituições financeiras, cidades, comunidades e povos indígenas para ampliar e fortalecer ações de mitigação do aquecimento global.

O Brasil, por exemplo, comprometeu-se a reduzir até 2025 suas emissões de gases de efeito estufa em até 37% (comparados aos níveis emitidos em 2005), estendendo essa meta para 43% até 2030.

- As principais metas do governo brasileiro são:
- Aumentar o uso de fontes alternativas de energia;
- Aumentar a participação de bioenergias sustentáveis na matriz energética brasileira para 18% até 2030;
- Utilizar tecnologias limpas nas indústrias;
- Melhorar a infraestrutura dos transportes;
- Diminuir o desmatamento;
- Restaurar e reflorestar até 12 milhões de hectares.

3.1.7.2 Agenda 2030

Em setembro de 2015, representantes dos 193 Estados-membros da ONU se reuniram em Nova York e reconheceram que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, é o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável (AGENDA2030, 2021).

O documento adotado na Assembleia Geral da ONU em 2015, “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, é um guia para as ações da comunidade internacional nos próximos anos. E é também um plano de ação para todas as

peças e o planeta que foi coletivamente criado para colocar o mundo em um caminho mais sustentável e resiliente até 2030 (AGENDA2030, 2021).

A Agenda 2030 consiste em uma Declaração, em um quadro de resultados - os 17 ODS (Figura 5) e suas 169 metas. Os 17 Objetivos são integrados e indivisíveis, e mesclam, de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental. Nos próximos anos de implementação da Agenda 2030, os ODS e suas metas irão estimular e apoiar ações em áreas de importância crucial para a humanidade: Pessoas, Planeta, Prosperidade, Paz e Parcerias (AGENDA2030, 2021).

Figura 5 - Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030



Fonte: AGENDA 2030 (2021)

3.1.7.3 *RenovaBio*

O principal instrumento do *RenovaBio* é o estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do país. As metas nacionais estabelecidas pelo CNPE serão anualmente desdobradas em metas individuais compulsórias para os distribuidores de combustíveis, conforme suas participações no mercado de combustíveis fósseis, nos termos da Resolução ANP nº 791/2019, de 12 de junho de 2019 (BRASIL, 2021).

Por meio da certificação da produção de biocombustíveis serão atribuídas para cada produtor e importador de biocombustível, em valor inversamente proporcional à intensidade de carbono do biocombustível produzido (Nota de Eficiência Energético-Ambiental). A nota

refletirá exatamente a contribuição individual de cada agente produtor para a mitigação de uma quantidade específica de gases de efeito estufa em relação ao seu substituto fóssil (em termos de toneladas de CO² equivalente) (BRASIL, 2021).

RenovaBio é a Política Nacional de Biocombustíveis, instituída pela Lei nº 13.576/2017, com os seguintes objetivos:

- Fornecer uma importante contribuição para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris;
- Promover a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis;
- Assegurar previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, comercialização e uso de biocombustíveis.

3.1.7.4 Ceará 2050

A Plataforma Estratégica de Desenvolvimento de Longo Prazo – Ceará 2050 tem o objetivo de traçar estratégias para acelerar o crescimento econômico estadual nas próximas três décadas e atender, de forma mais eficiente, às expectativas da sociedade pela oferta de serviços essenciais como saúde, educação, abastecimento de água, segurança pública e geração de emprego e renda (SEPLAG, 2021).

Para alcançar a Visão de Futuro do Ceará como um “Estado justo e sustentável. Forte em conhecimento e oportunidades” e gerar os impactos desejados, traduzidos na Arquitetura do Pensamento Estratégico, organizada nos 29 Objetivos Estratégicos de Desenvolvimento de Longo Prazo (SEPLAG, 2021). Foi estruturada uma carteira transversal com 20 Programas Estratégicos, sendo eles:

- Ativos Ambientais
- Ceará Seguro
- Ciência e Futuro
- Economia e Inovação em Saúde
- Educação Empreendedora
- Educação Transformadora
- Energia e Negócios
- Festivais de Cultura e Rotas Turísticas
- Futuro no Esporte

- Indústria 4.0
- Infância Transformadora
- Inova Governo
- Logística do Atlântico
- Mais Valor no Campo
- Mineração
- Município Fortes
- Orla do Entretenimento
- Renda do Sol
- Riquezas do Mar
- Segurança Hídrica no Semiárido

3.2 Agricultura familiar

Em 2017, foi aprovado o Decreto nº 9.064 de 31/05 (BRASIL, 2016). Este decreto dispõe sobre a Unidade Familiar de Produção Agrária, institui o Cadastro Nacional da Agricultura Familiar e regulamenta a Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e empreendimento familiares rurais.

O artigo 3º desta lei afirma que será considerado empreendimento rural aquele que atender aos seguintes requisitos:

I - possuir, a qualquer título, área de até quatro módulos fiscais;

II - utilizar, no mínimo, metade da força de trabalho familiar no processo produtivo e de geração de renda;

III - auferir, no mínimo, metade da renda familiar de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; e

IV - ser a gestão do estabelecimento ou do empreendimento estritamente familiar.

Segundo o último censo agropecuário (IBGE, 2017), 77% do total dos estabelecimentos agropecuários se enquadram como estabelecimento familiar rural, são 3.387.408 de estabelecimentos, ocupando uma área de 80,9 milhões de hectares, ou seja, 23³ da área total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. Destes 50% deles estão localizados na Região Nordeste.

A agricultura familiar constitui 90% da base econômica dos municípios brasileiros, com até 20 mil habitantes, corresponde a 35% do PIB nacional, absorve 40% da população economicamente ativa do Brasil (BRASIL, 2016).

O último censo agropecuário (IBGE, 2017), Considerando-se, os alimentos que vão para a mesa dos brasileiros, os estabelecimentos de agricultura familiar têm participação significativa. Nas culturas permanentes, o segmento responde por 48% do valor da produção de café e banana; nas culturas temporárias, são responsáveis por 80% do valor de produção da mandioca, 69% do abacaxi e 42% da produção do feijão.

Atualmente a agricultura familiar possui um peso muito importante para a economia brasileira. Com um faturamento anual de US\$ 55,2 bilhões, caso o País só contasse com a produção deste setor, ainda ocuparia o 8º Lugar do agronegócio mundial, entre os maiores produtores de alimentos. Atualmente o Brasil ocupa o 5º lugar com um faturamento anual com produção de alimentos de US\$ 84,6 bilhões, ficando atrás da China, Índia, Indonésia e Nigéria (BRASIL, 2018).

Em termos de políticas públicas para o desenvolvimento da agricultura familiar, o principal apoiador é o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), que tem como objetivo promover o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar. Através das linhas de crédito disponíveis nesse programa os agricultores familiares podem desenvolver projetos de custeio da safra, de atividade agroindustrial, investimento em máquinas, equipamentos ou infraestrutura. Para ter direito ao Pronaf, a renda bruta anual dos agricultores familiares deve ser de até R\$ 360 mil (BRASIL, 2016). Dentro do Pronaf existe o Pronaf Eco, voltado exclusivamente para financiar projetos de utilização de tecnologias de energia renovável, com juros de 2,5% ao ano, o BNDES financia até 100% do valor dos itens financiáveis. Os valores podem variar de 88 mil reais por beneficiário e 165 mil por ano agrícola e os prazos são de 10 anos, com 3 anos de carência. A mesma unidade familiar de produção pode contratar até dois financiamentos consecutivos (BNDES, 2018).

3.2.1 Agricultura familiar no Ceará

Segundo o último censo agropecuário (IBGE, 2017), o Ceará possui 394.330 estabelecimentos agropecuários, desse total, 297.862 são de agricultura familiar, ou seja, 75% dos estabelecimentos agropecuários do Ceará são de agricultura familiar. Porém a área total desses estabelecimentos é de 6.908.179 ha, já os estabelecimentos não familiares, que somam 96.468 estabelecimentos agropecuários, ocupam uma área total de 3.342.608 ha (IBGE, 2017).

O censo agropecuário de 2006, mostrou que agricultura familiar é responsável por 88% do arroz, 90% do feijão-fradinho, caupi, corda ou macassar, 82% da mandioca, 50% do milho, 6% da soja, 99% do trigo, 55% do café arábica, 45% do café conilon, 56% do leite de vaca e 17% da produção de ovos do estado do Ceará (IBGE, 2006). Porém, a Produção Agrícola Municipal 2018 (PAM 2018), divulgada pelo Departamento de Agropecuária do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indica crescimento do valor da produção de 69,1% nos últimos quatro anos do Ceará. O estudo aponta ainda o Ceará na terceira colocação entre os estados do Nordeste, com um aporte na economia de R\$ 2,79 bilhão no período de doze meses. No período anterior, o aumento foi R\$ 2,71 bilhão girando a partir da produção agrícola na economia do Estado.

3.3 Semiárido brasileiro

O Semiárido brasileiro é uma região delimitada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE considerando condições climáticas dominantes de semiaridez, em especial a precipitação pluviométrica. Como reflexo das condições climáticas, a hidrografia é frágil, em seus amplos aspectos, sendo insuficiente para sustentar rios caudalosos que se mantenham perenes nos longos períodos de ausência de precipitações (IBGE, 2021).

O Semiárido Brasileiro se estende pelos nove estados da região Nordeste e também pelo norte de Minas Gerais, ocupa uma área de 969.589 km². No total, ocupa 12% do território nacional e abriga cerca de 28 milhões de habitantes divididos entre zonas urbanas (62%) e rurais (38%), constituídas por 1.262 municípios, sendo, portanto, um dos semiáridos mais povoados do mundo (BRASIL, 2021).

3.3.1 Bioma caatinga

Caatinga é uma palavra de origem Tupi que significa floresta branca. Este nome decorre da paisagem esbranquiçada apresentada pela vegetação durante o período seco: a maioria das plantas perde as folhas e os troncos tornam-se esbranquiçados e secos (ALVES, 2007). Segundo o IBGE (2004), o bioma Caatinga ocupa uma área aproximada de 840.000 km², que corresponde a quase 10% do território brasileiro. O Bioma Caatinga se estende pela totalidade do estado do Ceará (100%) e mais de metade da Bahia (54%), da Paraíba (92%), de Pernambuco (83%), do Piauí (63%) e do Rio Grande do Norte (95%), quase metade de Alagoas

(48%) e Sergipe (49%), pequena parte de Minas Gerais (2%) e do Maranhão (1%) (IBGE, 2004). A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro e é o quarto maior ecossistema do país (SILVA *et al.*, 2017).

Segundo Leal, Tabarelle e Silva (2003), a caatinga é caracterizada como floresta arbórea ou arbustiva, muitas árvores e arbustos da caatinga apresentam espinhos, microfilia e características xerofíticas. Algumas das espécies lenhosas mais típicas da vegetação das Caatingas são: *Amburana cearenses* (Fr.All.) A.C. Smith, (“imburana de cheiro”, Fabaceae – Papilionoideae), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. *cebil* (Griseb.) Altschul (“angico”, Fabaceae – Mimosoideae), *Aspidosperma pyriforme* Mart. (“pau-pereiro”, Apocynaceae), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (“catingueira”, FabaceaeCaesalpinioideae), *Cnidocolus phyllacanthus* (Müll. Arg.) Pax & Hoffm. (“faveleira”, Euphorbiaceae), *Commiphora leptophloeos* (Mart.) Gillet (“imburana”, Burseraceae, também conhecida como *Bursera leptophloeos* Mart.), várias espécies de *Croton* (“marmeleiros” e “velames”, Euphorbiaceae) e de *Mimosa* (“calumbies” e “juremas”, Fabaceae-Mimosoideae), *Myracrodruon urundeuva* Fr. All., (“aroeira”, Anacardiaceae), *Schinopsis brasiliensis* Engler (“baraúna”, Anacardiaceae), e *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex A. DC.) Standley (“pau d’arco roxo”, Bignoniaceae).

A vegetação compartilha muitas características e espécies com as expansões semi-áridas a oeste: as plantas geralmente são decíduas e espinhosas, os cactos e bromeliáceas estão presentes no solo pedregoso, microfilia generalizada, as espécies lenhosas e suculentas mais características no agreste também ocorrem no resto das Caatingas (LEAL, TABARELLE; SILVA, 2003). Os solos são pedregosos e rasos, com a rocha-mãe escassamente decomposta a profundidades exíguas e muitos afloramentos de rochas maciças (LEAL, TABARELLE E SILVA, 2003). As condições ambientais da Caatinga são bastante severas, os solos são pobres, a precipitação anual é geralmente baixa (500 a 800 mm) e aperiódica, as temperaturas médias anuais são altas (entre 23 e 27° C) e a umidade relativa geralmente é inferior a 50%, portanto, a evapotranspiração potencial é alta ($> 1500 \text{ mm ano}^{-1}$), resultando em balanços hídricos negativos para maioria dos meses do ano (SILVA *et al.*, 2017).

A Fauna é rica, com 178 espécies de mamíferos, dos quais dez são endêmicos, 591 espécies de aves, quinze são endêmicas e 20 encontram-se ameaçadas de extinção. Em razão da semiaridez e do domínio de rios temporários, era de se esperar que a biota aquática da Caatinga fosse pouco diversificada, mas já foram identificadas pelo menos 241 espécies de peixes, distribuído em mais de 100 gêneros, a maioria dele (57,3%), endêmica. Os reptéis já

somam 177, 79 de Anfíbios e cerca de 221 abelhas, importantes na polinização e economia da região (BRASIL, 2012).

3.3.1.1 Desmatamento da caatinga

O desmatamento é considerado uma das principais causas de perda de biodiversidade no mundo, pois tem, como consequência, a diminuição e fragmentação de habitats e é fator de extinção de inúmeras espécies (BRASIL, 2016). Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), apesar do bioma caatinga ser de extrema importância por sua diversidade de flora e fauna, este bioma tem sofrido um processo de desmatamento acelerado, principalmente nos últimos anos.

O principal motivo de desmatamento é o consumo de lenha nativa, explorada de forma ilegal e insustentável, para fins domésticos e industriais, o sobrepastoreio e a conversão para pastagem e agricultura (BRASIL, 2012). O pastoreio de caprinos, ovinos e bovinos, como também a exploração agrícola, com práticas de agricultura itinerante, que constam do desmatamento e da queimada desordenados, têm modificado a composição florística não só do estrato herbáceo, mas também do estrato arbóreo-arbustivo, provocando transformações irreversíveis nesse ecossistema (BRASIL, 2016).

O desmatamento da caatinga já atinge 46% da área do bioma, os estados que mais desmataram foram Bahia e Ceará, destruindo respectivamente 0,55% e 0,50% do bioma entre 2002 e 2008. Neste período, 2% do bioma foram queimados, uma área de 16.576 quilômetros quadrados (ALENCASTRO, 2011), os municípios que mais desmataram foram Acopiara (CE), Tauá (CE), Bom Jesus da Lapa (BA), Campo Formoso (BA), Boa Viagem (CE), Tucano (BA), Mucugê (BA) e Serra Talhada (PE) (BRASIL, 2012).

A Caatinga tem apenas 7% de áreas protegidas, somando áreas estaduais e federais, sendo que 2% são de proteção integral e os outros 5% são de unidades de conservação de uso sustentável (BRASIL, 2012). Segundo o Ex-Ministro do Meio Ambiente, Carlos Minc, para reverter a situação é importantíssimo pensar em uma matriz energética diferente para a região, que substitua a lenha no fornecimento de energia térmica (BRASIL, 2012).

Conforme os relatórios técnicos do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS), houve redução significativa no desmatamento da Caatinga, segundo o levantamento, realizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), os dados mostram que foram suprimidos 494 km² de vegetação nos anos de 2010-2011, uma queda de

56% em relação ao período anterior, os estados com maior registro de desmatamento foram Piauí, Ceará e Bahia (BRASIL, 2017).

3.3.2 Vulnerabilidade socioeconômica

A vulnerabilidade pode ser definida como um fator de risco ao qual o sujeito ou sistema está exposto e corresponde à sua tendência específica a ser afetado, ou seja, suscetível a danos.

Segundo Vieira *et al.* (2020), em seu estudo de vulnerabilidade socioeconômico, o clima e as características físicas do solo árido não implicam necessariamente em alta vulnerabilidade. O bioma caatinga concentra os maiores índices de vulnerabilidades socioeconômicas, assim como, é a população rural que possui os níveis mais elevados de vulnerabilidade (VIEIRA *et al.*, 2020). As irregularidades e baixos índices pluviométricos, interferem diretamente na disponibilidade de alimentos, influenciando na segurança alimentar, haja vista que a população rural, majoritariamente, de agricultura familiar pratica agricultura de subsistência. Além disso, o acesso a água potável para consumo também se torna escasso, afetando a segurança hídrica dessa população, que por diversas vezes depende da distribuição de água por caminhões-pipas (MATOS *et al.*, 2020). Em regiões semiáridas, fatores ambientais e antropogênicos conjuntamente impõem baixa disponibilidade de recursos hídricos, vulnerabilidade no acesso e conflitos no uso (CAMPOS *et al.*, 2021).

A vulnerabilidade socioeconômica da população rural do semiárido nordestino impacta diretamente no poder de compra dessa população, os sucessivos aumentos no valor do botijão de gás de cozinha (GLP – Gás liquefeito de petróleo), tem obrigado essa população a optar pela lenha e/ou carvão para a cocção de alimentos, tal atividade compromete a segurança energética, alimentar e da saúde (GIODA *et al.*, 2019).

Essa população está constantemente exposta à vulnerabilidade em saúde humana, desenvolvimento econômico, interações sociais e culturais (CAMPOS *et al.*, 2021). A cooperação tem um papel importante nesse tipo de comunidade, pois otimiza a distribuição de recursos e melhora a sobrevivência, através da participação da população nas ações de políticas sociais (VIEIRA *et al.*, 2019).

3.3.3 Forquilha: local do estudo

Esse estudo faz parte do projeto de pesquisa intitulado “Tecnologias sociais e ações

integradas de sustentabilidade para a garantia da segurança hídrica, energética e alimentar em nível comunitário no semiárido cearense” aprovado na chamada MCTIC/CNPq No 19/2017 – NEXUS I: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Caatinga e Cerrado, sob coordenação da Professora Doutora Adryane Gorayeb.

Esse projeto de pesquisa tem como objetivo contribuir na elaboração de estratégias, ações educativas e desenvolvimento tecnológico visando a redução da vulnerabilidade de comunidades rurais inseridas no bioma Caatinga, a partir da análise dos níveis de segurança hídrica, alimentar e energética das populações do município de Forquilha, Ceará, utilizando-se recursos locais e o envolvimento das comunidades. A proposta está de acordo com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), uma vez que tem como princípios fundamentais encontrar soluções científicas e tecnológicas para subsidiar os governos no sentido que possam construir agendas locais com foco na melhoria da qualidade de vida dos habitantes do semiárido, tendo por prioridade a soberania alimentar, a preservação ambiental e a garantia de acesso de bens e serviços essenciais à vida como água limpa e tratada e fonte energética estável.

O Município de Forquilha, foi elevado a essa a essa categoria pela lei estadual nº 11012, de 05 de fevereiro de 1985, antes era um distrito criado pelo decreto estadual nº 1156, de 04 de dezembro de 1933, pertencendo ao município de Sobral (IBGE, 2021). O Município recebeu esse nome devido o açude construído em 1927 denominado de açude Forquilha. Em divisão territorial datada de 2020, o município é constituído de 4 distritos: Forquilha, Salgado dos Mendes, Trapiá e Cacimbinha (IBGE, 2021).

O Município situa-se na porção noroeste do estado do Ceará, na microrregião de Sobral. Limita-se, ao norte, como o município de Sobral; ao sul com os municípios de Santa Quitéria e Groaíras; ao leste a ao oeste, com o município de Sobral. Situado a 87 metros de altitude, de Forquilha tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 3° 48' 9" Sul, Longitude: 40° 16' 7" Oeste. Seu território é de 516,99 km, correspondendo a 0,52% da área do Ceará. Atualmente a população do município está estimada em 24.680 pessoas (IBGE, 2021).

O relevo de depressões sertanejas, é suavemente pouco dissecado, produto da superfície de aplainamento atuante no cenozóico. Os solos são Bruno não Cálcico, Solos Litólicos e Podzólico Vermelho-Amarelo. A vegetação é de Floresta Caducifólia Espinhosa, Caatinga Arbustiva Aberta e Floresta Mista Dicotillo-Palmácea. O clima é tropical quente semiárido, com chuvas concentradas de fevereiro a junho (IPECE, 2017).

3.4 Viabilidade econômica de projeto

A análise de viabilidade econômica é um estudo que visa medir e analisar se um investimento é viável ou não, sendo um conjunto de informações, que são coletadas e processadas para uma tomada de decisão ao investimento (WOILER e MATHIAS, 2014).

A viabilidade econômica é o instrumento que permite minimizar os riscos inerentes à decisão de investir os seus recursos, utilizando como critério de investimento o retorno financeiro, avaliado pela relação entre o capital investido e o lucro que espera obter (CAMPOS, 2017).

Analisar a viabilidade econômica e financeira de um negócio é de extrema importância, pois possibilita reduzir os riscos na hora de abrir, estruturar, expandir e tomar as medidas necessárias. Permite, assim, alcançar os resultados desejados e o retorno do investimento em um prazo menor (SEBRAE, 2019).

Um dos parâmetros bastante utilizados na análise da viabilidade econômica é o *payback*, que se trata do período de tempo em que ocorre o retorno do investimento inicial. Este método mede o tempo estimado para a recuperação do capital inicialmente investido. O método de *payback* é frequentemente utilizado para decisões de investimento, pois trata-se de uma metodologia simples e rápida. Quando se deseja realizar uma avaliação pela ótica do tempo de recuperação do investimento, o *payback* é o indicador mais importante para as empresas (BRITO, 2012; CHIAVENATO, 2007).

3.5 Projeto conceitual

O projeto conceitual pode ser entendido como o desenvolvimento inicial de um conceito, no qual as necessidades locais são identificadas, são criados conceitos de produtos alternativos e posteriormente avaliados, e, por fim, são selecionados os melhores projetos para o desenvolvimento. As necessidades dos clientes são a base para aos trabalhos na concepção do produto (BAXTER, 2003). O projeto conceitual tem a proposta de desenvolver um conjunto de princípios funcionais e de forma, sendo estes norteados pelo levantamento da oportunidade ou necessidade de um novo produto (BACK, 2008).

A fase de projeto conceitual é que mais exige o uso do conhecimento e da criatividade. É nesta fase que o abstrato necessita ser transformado em concreto por meio de protótipos, contribuindo para o processo decisório inerente a seleção de concepções. Esta é a fase onde ocorre a concepção do produto, por meio da busca, criação, representação e seleção

de soluções (PAGAN *et al.*, 2013; ROZENFELD *et al.*, 2006).

Durante a construção de um projeto conceitual, as atividades estão relacionadas com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto. O objetivo principal desta fase é gerar soluções capazes de satisfazer as necessidades dos consumidores, (OTTOSSON, 2004; PUGH, 1991).

O projeto conceitual tem o objetivo de produzir princípios de projeto para o novo produto. Ele deve ser suficiente para satisfazer as exigências do consumidor e diferenciar o novo produto de outros produtos existentes no mercado. O projeto conceitual deve mostrar como o novo produto será feito para atingir os benefícios básicos. Portanto, para o projeto conceitual é necessário que o benefício básico esteja bem definido e se tenha uma boa compreensão das necessidades do consumidor e dos produtos concorrentes (BAXTER, 2000).

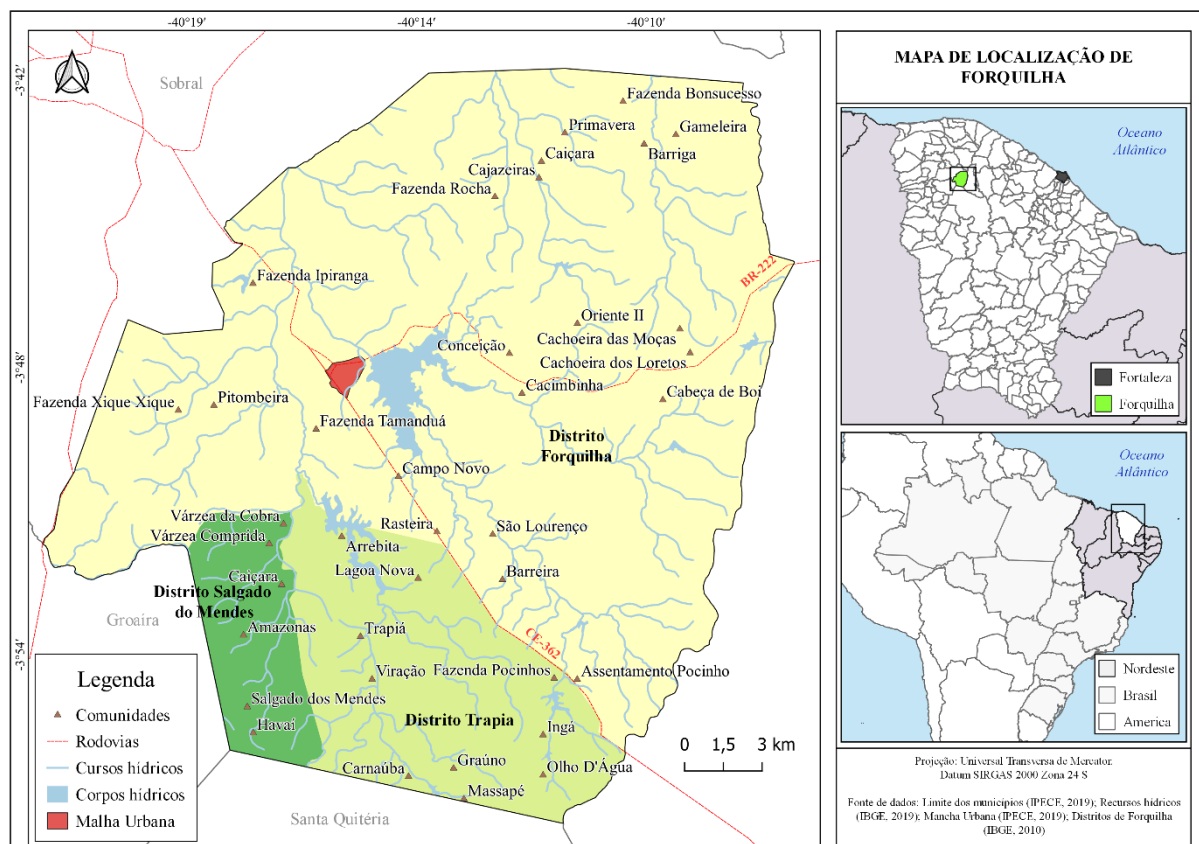
4 MATERIAIS E MÉTODO

4.1 Local do estudo

O estudo foi desenvolvido em duas etapas. A primeira etapa foi realizada no município de Forquilha – Ceará, essa etapa consistiu na caracterização do consumo e demanda de energia térmica e avaliação das condições técnicas para instalação de biodigestores para produção de energia térmica em residências rurais de agricultura familiar. A segunda etapa foi realizada no município de Fortaleza e consistiu no desenvolvimento do protótipo de biodigestor, caracterização da produção de biogás e desenvolvimento do projeto conceitual do biodigestor proposto.

O município de Forquilha está localizado na região Noroeste do estado do Ceará (Figura 6), na bacia hidrográfica do rio Acaraú. Localizado segundo as coordenadas geográficas de 3°47'54"S e 40°15'38"O, com área territorial de 517,0 Km² (IBGE, 2010).

Figura 6 - Localização do município de Forquilha.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Segundo a Cogerh (2007), o clima da região é do tipo tropical, apresentando temperaturas média anual de 27,5° C, com a máxima média de 36,8° C, nos meses de outubro e novembro, e a mínima média de 21,4° C, no mês de julho. De acordo com classificação de Köppen e Geiger (KÖPPEN e GEIGER, 1928), o clima é do tipo Bsh-Semiárido quente e se caracteriza por precipitações escassas e irregulares, temperaturas elevadas e forte evaporação. A precipitação média anual, no período de 60 anos (1920 – 1981), é de 679,0 mm, caracterizando-se o regime pluviométrico, pela irregular distribuição das chuvas, ao longo do ano, com período de estiagem de 6 a 7 meses, provocando secas interanuais.

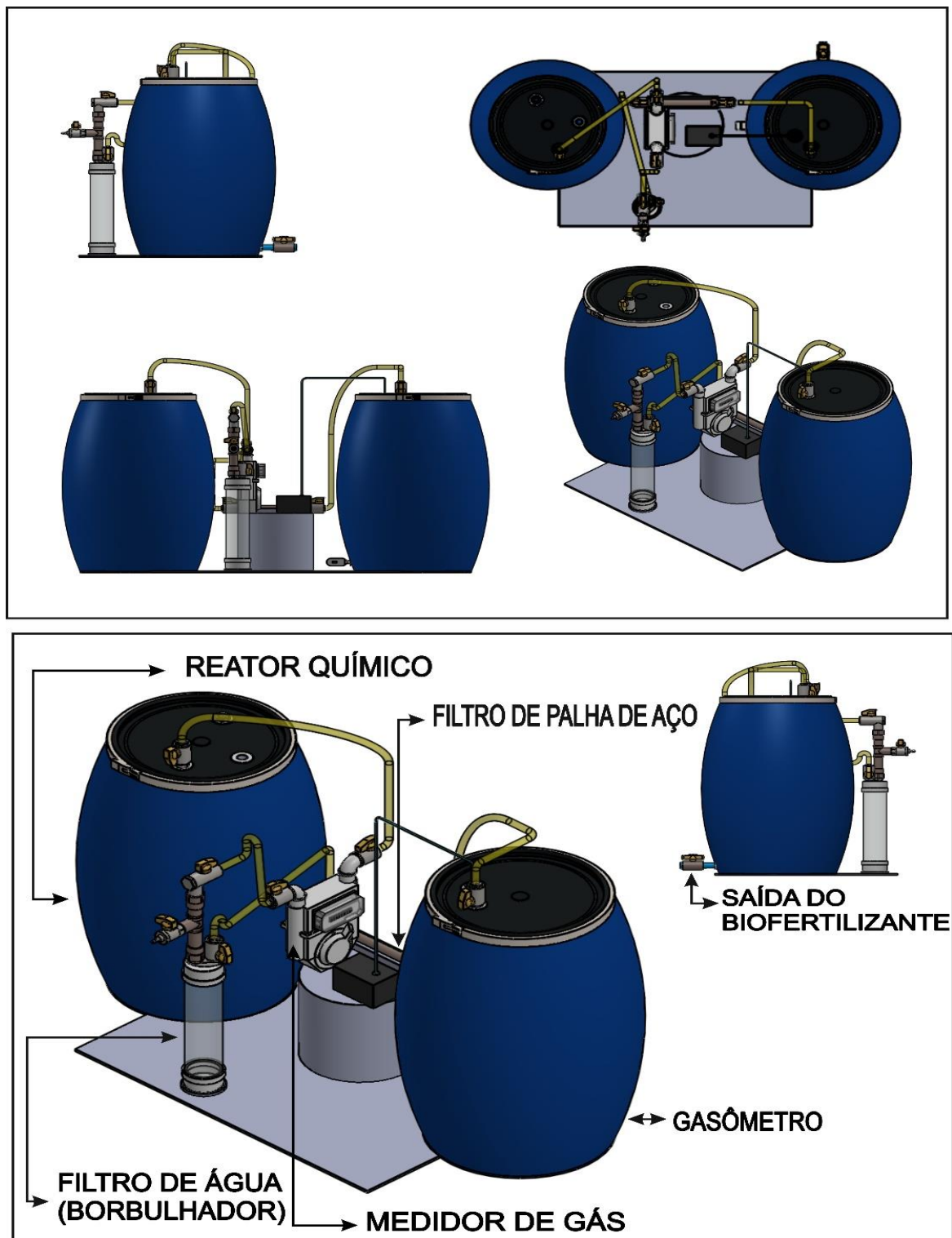
A segunda etapa desse estudo foi realizada no LIMA - Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas, da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, no município de Fortaleza. Localizado nas coordenadas geográficas, latitude 3°44'42.80"S e longitude 38°34'51.19"O. Fortaleza está a 24 m acima do nível do mar.

A classificação do clima é Aw de acordo com a Köppen e Geiger (KÖPPEN e GEIGER, 1928). A temperatura média anual em Fortaleza é 26,3 °C. A pluviosidade média anual é 1448 mm. As investigações realizadas nesse estudo foram realizadas em triplicata, durante os meses de setembro, outubro e novembro de 2019, durante esses meses as temperaturas máxima e mínima foram respectivamente 23,2 °C e 29,9 °C; 23,7 °C e 30,2 °C e 24 e 30,4 °C.

4.2 Sistema para produção do biogás

Na Figura 7 está apresentado o sistema para produção de biogás, o qual é composto por reator químico, com capacidade para 200 L, gasômetro, borbulhador, filtro utilizando-se palha de aço como material de empacotamento, sistema de medição de gás e de pressão. O primeiro reservatório funcionou como reator químico, onde a mistura de matéria orgânica e água passou pelo processo de fermentação anaeróbica, o gás gerado é transportado para o segundo reservatório através de mangueiras, que os conectam. Antes de chegar ao segundo reservatório, o biogás passa por um circuito de dois filtros, o primeiro, um tubo de 100 mm com água, que funciona como borbulhador e o segundo, um tubo de 25 mm, que contém palha de aço. Esses filtros promovem a remoção de parte das impurezas do biogás por meio de reações químicas. O segundo reservatório funcionou como gasômetro, ou seja, local onde o biogás gerado fica armazenado, e pode ser transportado, para ser utilizado como um botijão de gás.

Figura 7 – Sistema para apresentação do protótipo de biodigestor para análise e caracterização da produção de biogás.



Fonte: Elaborado pela autora

A composição do biogás depende da biomassa utilizada como substrato e das condições operacionais do biodigestor (LI; MUPONDWA, 2018). Adotou-se como biomassa o esterco bovino fresco. Foram utilizados 50 kg de esterco diluídos em 50 L de água (1:1).

Em relação às condições de operação do biodigestor. O tempo de retenção hidráulica foi fixada em 30 dias (LEÓN; MARTÍN, 2016). O biodigestor operou em uma temperatura, média, de 30 °C. De acordo com estudos anteriores, as bactérias metanogênicas são sensíveis à temperatura ambiente e são encontradas em uma ampla faixa de temperaturas, entre 0 e 97° C. As bactérias que se encontram no intervalo de 30 - 40° C são consideradas mesofílicas (ZHANG *et al.*, 2019). O Fluxo de alimentação adotado foi o regime de batelada. A biomassa foi agitada diariamente, uma vez por dia, de forma manual.

4.3 Caracterização do consumo e demanda de energia térmica das residências rurais de agricultura familiar do município de Forquilha

Realizou-se visitas a 10 residências rurais de agricultura familiar do município de Forquilha em março de 2020. Os agricultores informaram quais as fontes de energia térmica utilizam, a quantidade de energia térmica consumida por mês e o quantitativo de semoventes das propriedades. Também foram avaliadas as condições técnicas para a instalação de biodigestores nas propriedades agrícolas em questão, assim como a aceitação e interesse dos agricultores em adotar essa tecnologia de geração de energia como fonte de energia térmica para a cocção de alimentos dessas famílias.

4.4 Etapas metodológicas para caracterização da produção de biogás

Para avaliar e caracterizar a produção de biogás utilizando esterco bovino, como matéria orgânica, nas condições climáticas cearense, decidiu-se investigar os parâmetros de operação, que interferem diretamente na produção de biogás. São eles: pH, temperatura e características da biomassa (sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, concentração de ácidos graxos voláteis e relação C/N). Também foi aferido o volume de biogás gerado a cada ciclo e determinada a concentração de metano.

Todas as aferições e determinações foram realizadas em triplicata, os resultados foram expressos em média, moda e desvio padrão médio. Os valores estatísticos foram determinados utilizando software Minitab®.

Utilizou-se um medidor de pH (AK88, Akso) e um termômetro (MV – 364, Minipa), para aferir o pH e a temperatura, respectivamente. O termômetro de vareta fixado ao reator químico, permitiu que a temperatura interna do biodigestor fosse aferida diariamente. Apresentou-se nos resultados a temperatura e pH inicial e final. Para os resultados do pH e temperatura apresentados durante o processo de digestão anaeróbica, utilizou-se o valor estatístico de moda.

Os Ácidos Graxos Voláteis (AGV) foram determinados pela metodologia Kapp, conforme o Standard Methods (APHA, 2005). Foram realizadas determinações de AGV em amostras no início e ao final do processo de digestão anaeróbica.

Os sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis foram determinados pelo método gravimétrico, em mufla, conforme o Standard Methods (APHA, 2005). Foram realizadas determinações de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis em amostras de esterco puro e em amostras da biomassa diluída no início e ao final o processo de digestão anaeróbica.

A determinação da relação C/N foi realizada pelo método da mufla seguindo o método estabelecido por Goldin (1987). Foram realizadas determinações da relação C/N em amostras da biomassa no início e ao final o processo de digestão anaeróbica.

O volume do biogás gerado foi aferido por um medidor de gás (G2.5, Deaflex), analógico, do tipo diafragma. A concentração de metano do biogás gerado foi determinada através do uso do kit portátil para análise de concentração de gases em biogás da Embrapa (KUNZ; SULZBACH, 2007), através de um método analítico volumétrico.

4.5 Projeto conceitual de biodigestor em escala real

4.5.1 Dimensionamento do biodigestor

Para o dimensionamento do volume do biodigestor utilizou-se a Equação 1, que tem como base o volume de carga orgânica diária e o tempo de retenção hidráulica. O volume de carga orgânica diária adotado utilizou o valor médio de matéria orgânica gerada pelos animais de produção de famílias de agricultura familiar do município de Forquilha – Ceará, que é de 12 suínos adultos, em média. Também se utilizou-se como referência para o dimensionamento do biodigestor, os dados de produção de biogás de Praciano *et al.*, (2020).

$$VB = VC \cdot TRH \quad (1)$$

Em que,

VB = Volume do biodigestor (m³)

VC = Volume de carga orgânica diária (m³/dia)

TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias)

4.5.2 Projeto conceitual do biodigestor em escala real

O projeto conceitual trata-se da fase do processo de desenvolvimento de produtos relacionadas a busca, criação, representação e seleção de soluções (ROZENFELD *et al.*, 2006)

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006):

A busca: consiste em buscar por soluções já existentes em produtos concorrentes ou similares descritos em livros, artigos, catálogos e base de dados de patentes;

A criação: corresponde a criação de soluções é livre de restrições, porém estão norteadas a pelas necessidades, requisitos e especificações de projetos de produtos, e auxiliados por métodos de criatividade.

A representação: compreende a representação de soluções que pode ser realizada por meio de esquemas, croquis e desenho que podem ser manuais ou computacionais, e pode ser desenvolvida juntamente com a criação;

A seleção: fundamenta-se na seleção de soluções que é realizada com base em métodos apropriados que se apoiam nas necessidades e requisitos previamente definidos no projeto.

Nesse contexto, o projeto conceitual do biodigestor foi idealizado com base em produtos já existentes, buscando atender as necessidades do público alvo, que são famílias de agricultura familiar do semiárido nordestino. Portanto, buscou-se soluções que utilizassem materiais de fácil aquisição, baixo custo, fácil instalação, não havendo necessidade de mão de obra especializada, e fácil manutenção. O projeto conceitual do biodigestor foi representado por um desenho computacional utilizando o *software* SolidEdge.

4.5.3 Avaliação da viabilidade econômica do projeto conceitual

Para avaliar a viabilidade econômica do projeto conceitual do biodigestor proposto, utilizou-se o cálculo do *payback* simples, através da Equação 2. O *payback* é o tempo de retorno do investimento inicial até o momento no qual o ganho acumulado se iguala ao valor deste

investimento. Normalmente este período é medido em meses ou anos. O *payback* é obtido sob a forma de unidade de tempo.

$$PB = II \cdot GP^{-1} \quad (2)$$

Em que,

PB = *Payback* (tempo)

II = Investimento Inicial (R\$);

GP = Ganho no período (R\$).

4.5.3 Linha de crédito para financiamento do projeto conceitual proposto

O Agroamigo Sol do Banco do Nordeste é uma linha de crédito que financia a implantação de sistemas de micro e minigeração de energia solar e outras fontes renováveis. O Agroamigo Sol é o Programa de Microcrédito Rural Orientado e Acompanhado do Banco do Nordeste, alternativo ao funcionamento regular do Pronaf (BNB, 2021).

O Agroamigo Sol do Banco do Nordeste é uma linha de crédito que financia a implantação de sistemas de micro e minigeração de energia solar e outras fontes renováveis, permitindo um melhor desenvolvimento da agricultura familiar mediante a concessão de microcrédito rural, orientado e acompanhado, de forma sustentável, promovendo o incremento de renda e a melhoria da qualidade de vida das famílias beneficiadas (BNB, 2021).

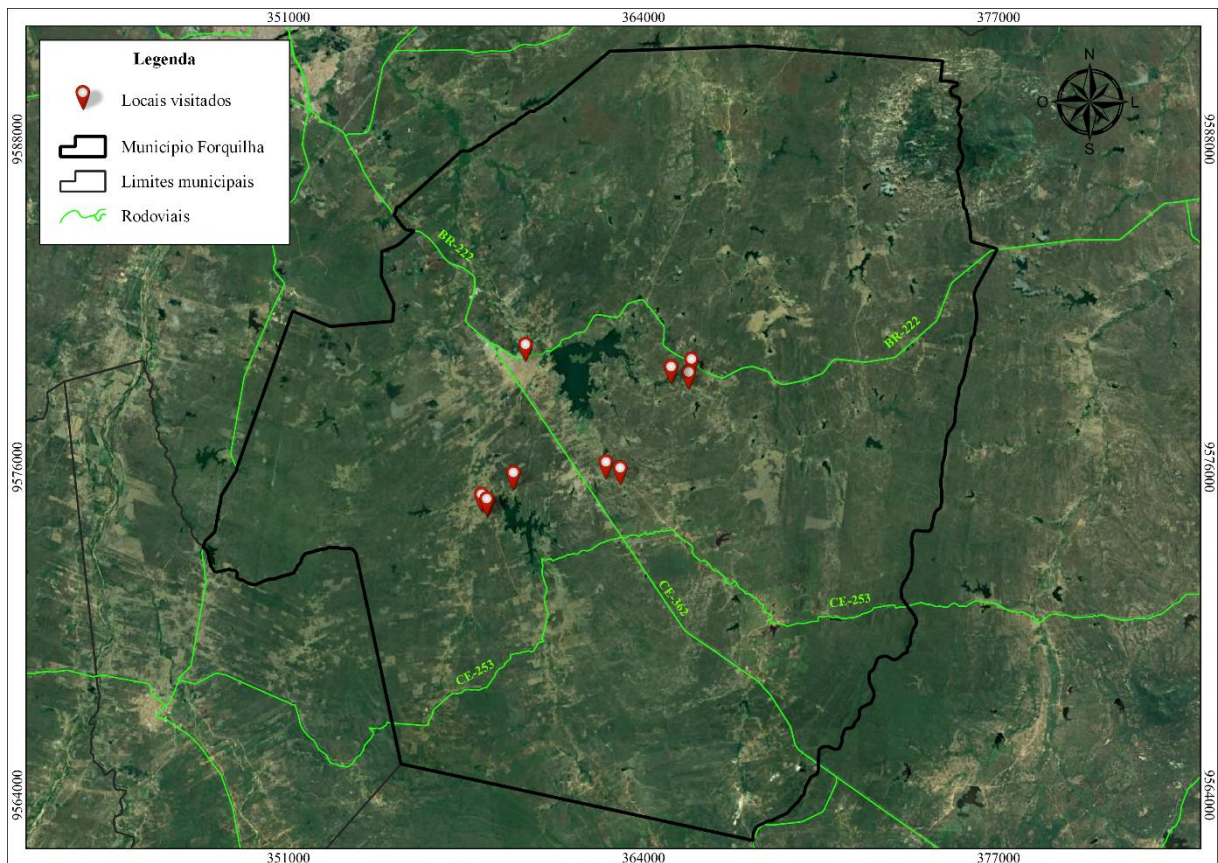
Essa linha de Crédito permite o financiamento total ou parcial do projeto, concede períodos de carência, com juros de 4,9537% ao ano (BNB, 2021). Para esse projeto adotou-se uma carência de 6 meses, visando um período ótimo para que a produção de biogás seja satisfatória e contínua. Em relação ao parcelamento adotou-se 36 meses de financiamento, para que a parcela ficasse próximo ao valor de botijão de gás de cozinha, para não comprometer a renda familiar.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do consumo e demanda de energia térmica

A Figura 8 mostra o mapa com a distribuição geográfica das residências rurais de agricultura familiar do município de Forquilha as quais foram visitadas o objetivo de caracterizar o consumo e demanda de energia térmica de uma família de agricultura familiar típica do semiárido nordestino.

Figura 8 – Mapa de distribuição geográfica das residências rurais visitadas



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Em Forquilha, um módulo fiscal compreende a 50 ha. As propriedades rurais visitadas possuem entre 7 e 15 ha, onde são praticadas atividades agrícolas de subsistência, a mão de obra empregada nessas atividades é da própria família. As famílias visitadas são constituídas por 4 a 8 pessoas, configurando uma média de 6 integrantes.

Nessas propriedades agrícolas são cultivadas as seguintes culturas: milho (*Zea mays*), feijão (*Vigna unguiculata*), macaxeira (*Manihot esculenta*) e forrageiras (principalmente

o capim elefante - *Pennisetum purpureum*). A produção desses cultivares são para consumo próprio e para alimentar os animais criados na propriedade.

A criação de animais consiste em poucas cabeças. Os principais animais criados são frangos, variando de 20 a 40 cabeças e bovinos de leite, variando de 2 a 5 cabeças. Estes animais são criados para o consumo da família. Também são criados suínos, variando de 8 a 12 cabeças de matrizes, para comercialização. A criação de suínos para comercialização é uma característica marcante dos agricultores do município de Forquilha.

Quanto ao consumo de energia térmica para cocção de alimentos, a principal fonte de energia térmica consumida é o gás de cozinha (GLP), as famílias relataram, de forma unânime, o consumo de 1 botijão de 13 kg por mês. O botijão de gás é comercializado no município a R\$110,00 (Cento e dez Reais), comprometendo 10% do salário mínimo. A lenha e o carvão também são utilizados como fonte de energia térmica, porém somente para a cocção de alimentos que demandam mais tempo de cozimento, como o feijão e algumas proteínas. A lenha é mais consumida que o carvão por estar disponível nas propriedades. Em relação a quantidade consumida, foi realizada uma estimativa do volume de madeira utilizada, pois isso varia bastante, por se tratar de várias espécies, diferentes níveis de umidade, portanto, estima-se que o volume consumido seja de 1 m³ de madeira por mês.

Todas as propriedades agrícolas visitadas apresentaram condições técnicas satisfatórias para a instalação de um biodigestor para geração de biogás. Porém para que isso ocorra da melhor forma, é necessário que algumas adaptações sejam realizadas, por exemplo, o manejo dos animais, com o objetivo de obter o melhor aproveitamento da matéria orgânica, é necessário que esses animais sejam criados totalmente confinados. Os suínos e aves já são criados em confinamento, contudo os bovinos são criados em semiconfinamento. Todavia criar esses animais em confinamento é necessário que as forrageiras cultivadas sejam conservadas, na forma de feno ou silagem para que haja disponibilidade de alimento para esses animais durante todo o ano para que assim, não haja a necessidade de soltar os animais nos pastos.

Os agricultores visitados também foram questionados quanto ao interesse em adquirir um biodigestor para a produção de biogás. Todos eles demonstraram interesse em experimentar essa tecnologia. O manejo do biodigestor é uma atividade simples, porém é necessário que os agricultores que adquirirem essa tecnologia, passem por uma capacitação e tenham um acompanhamento técnico, principalmente para realização de manutenção, caso haja necessidade. Embora o uso e manutenção seja facilmente realizado, não havendo necessidade de mão de obra especializada, é necessário que haja um acompanhamento durante o período de adaptação.

5.1.1 Impactos da pandemia de Covid 19 nas famílias de agricultura familiar do município de Forquilha

A pandemia de Covid 19 gerou sérios impactos em todo o Mundo, e não foi diferente para as famílias de agricultura familiar do município de Forquilha. As famílias relatam que o *lockdown* decretado pelo Governo do Ceará (DECRETO Nº 33.510, de 16 de março de 2020), provocou redução da renda das famílias, pois as feiras livres foram proibidas e os serviços que os agricultores faziam para completar a renda, geralmente na construção civil também foi comprometido. As famílias também relataram a dificuldade em conseguir se cadastrar para o recebimento do auxílio emergencial, assim como relataram que o valor não era suficiente para suprir as necessidades.

Com o crescente aumento da inflação, 8,99 no acumulado dos últimos 12 meses (IBGE, 2021), e a diminuição do poder de compra do consumidor, cortes no orçamento familiar se fizeram necessários. As famílias relataram que a saca (60 kg) de ração para alimentação dos suínos antes da pandemia custava R\$ 55,00 (cinquenta e cinco reais), após esse período de pandemia a saca passou a custar R\$ 100,00 (cem reais), um aumento de quase 100%. Para alimentar uma média de 10 animais adultos (matrizes), os agricultores precisam de 1 saca por semana, tornando inviável para alguns agricultores, que relataram precisar vender seus animais para garantir a alimentação da família.

Grande parte dos agricultores familiares possui empréstimos vigentes para complementação da renda, geralmente a linha de crédito utilizada é o Agroamigo, que se trata de um Programa de Microfinança Rural do Banco do Nordeste que tem como objetivo melhorar o perfil social e econômico dos agricultores de agricultura familiar do Nordeste (BRASIL, 2021). Esse empréstimo é feito em grupo, onde cada participante torna-se avalista do outro. Com o impacto na renda e as parcelas a vencer, a única alternativa desses agricultores é a venda dos animais, que são propriedades de valor agregado, com fácil comercialização. Para essas famílias é muito importante manter essa linha de crédito, pois perdê-la, é também, perder a oportunidade de voltar a adquirir esses animais em momento oportuno. Além disso, o não cumprimento do financiamento prejudicaria os outros participantes do grupo. Essas famílias vivem de melhor graças a ações cooperativas, como esta que foi citada, dentre outras (VIEIRA *et al.*, 2020).

5.2 Caracterização da produção de biogás

A produção de biogás estudada foi realizada em um protótipo de biodigestor construído com materiais semelhantes ao do projeto conceitual proposto. A Figura 9, apresenta o protótipo de biodigestor.

Figura 9 – Protótipo de biodigestor na área experimental do Departamento de Engenharia agrícola.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

5.2.1 Monitoramento do pH

A Tabela 7 apresenta o resultado do monitoramento do pH durante o processo de fermentação anaeróbica, do esterco bovino fresco, no protótipo de biodigestor em regime de batelada, para geração de biogás.

Tabela 7 - Resultado do monitoramento do pH do processo de fermentação anaeróbica do esterco bovino fresco.

	pH
Inicial	6,86 ± 0,30
Durante o ciclo	5,80 ± 0,15
Final	7,20 ± 0,40

A maioria das bactérias acetogênicas vive em um intervalo de pH entre 6,7 e 7,4, porém o intervalo ótimo de pH é ente 7,0 e 7,2 (LAY *et al.*, 1997; FENG *et al.*, 2018). As primeiras etapas da digestão anaeróbia são hidrólise e acidogênese, durante essas etapas o pH ótimo é relatado como estando entre pH 5,5 e 6,5 (FENG *et al.*, 2018). Desta forma, o pH apresentado durante essa investigação mostra resultados que corroboram com os apresentados como aceitáveis. Os pesquisadores Senol *et al.* (2019), apresentaram em suas pesquisas valor de pH 6,88, corroborando com os valores apresentados por esse estudo.

O valor de pH do esterco pode influenciar no desempenho das etapas da fermentação anaeróbica, quando muito alcalino ou muito ácido, pois embora os microrganismos atuem em diferentes faixas de pH, a população de bactérias metanogênicas, responsáveis pela produção de metano, são muito sensíveis a variações de pH (VERONEZE *et al.*, 2019).

O esterco utilizado nesse estudo é oriundo de uma unidade rural de agricultura familiar, os animais não possuem raça definida e são utilizados para a produção de leite. O pH do esterco bovino está diretamente associado a alimentação do animal, quando rica em concentrados, por exemplo, pode causar acidose ruminal, alterando significativamente o pH do esterco (FACCENDA *et al.*, 2019). É possível corrigir o pH do esterco utilizando o carbonado de sódio, conhecido comercialmente como barrilha e dessa forma inibir o comprometimento da produção de biogás. Esse material é de baixo custo e fácil acesso para o produtor rural.

O pH ao final da digestão anaeróbica trata-se do pH do esterco digerido e está relacionado ao uso do subproduto desse processo, o biofertilizante. Que por conter uma concentração considerável de nutrientes, pode ser utilizado como fertilizante para o solo. O pH do esterco digerido é superior ao pH da biomassa inicial (SLEPETIENE *et al.*, 2019), conforme apresentado na tabela 1. O uso do biofertilizante que geralmente apresenta um valor de pH < 8, quando aplicado em solos ácidos pode auxiliar na correção do pH do solo.

Criar animais de produção é uma atividade comum na agricultura familiar. O esterco desses animais não possui nenhum, ou quase nenhum, valor agregado. A principal, ou única função dessa matéria orgânica é a nutrição do solo, porém isso não vale para a criação de suínos, já que o esterco desses animais, geralmente, possui microrganismos patogênicos a saúde de humanos (FONGARO *et al.*, 2014). Dessa forma, a produção de biogás a partir do uso de esterco não gera nenhum prejuízo a essas famílias agricultoras, pois ao final do processo de produção do biogás a biomassa digerida, pode ser utilizada como biofertilizante, e esse material possui melhor qualidade, pois os nutrientes apresentam maior disponibilidade para as plantas e melhor qualidade microbiológica, uma vez que o processo de fermentação biológica esteriliza parte dos microrganismos patogênicos (FONGARO *et al.*, 2014).

5.2.2 Monitoramento da temperatura

A Tabela 8 apresenta o resultado do monitoramento da temperatura. Durante o processo de digestão anaeróbia, a temperatura da biomassa foi monitorada diariamente.

Tabela 8 - Monitoramento da temperatura do processo de fermentação anaeróbica do esterco bovino fresco.

	Temperatura (°C)
Inicial	30 ± 0,02
Durante o ciclo	28,9 ± 0,80
Final	28 ± 0,03

Na digestão anaeróbica, a temperatura de operação está dividida em três categorias; psicrófila (> 20 °C), mesófila (< 35 °C) e termófila (< 55 °C) (KUMAR; SAMADDER, 2020). Nesse estudo a temperatura de operação é classificada como mesófila, essa categoria é a que mais ocorre no uso de biodigestores e em estudos de produção de biogás (RAPOSO *et al.*, 2012; KUMAR; SAMADDER, 2020). O processo mesofílico apresenta-se como mais estável possui menor acúmulo de ácidos graxos voláteis e maior concentração de metano (KUMAR; SAMADDER, 2020). Mao *et al.* (2015), relata que para otimizar os resultados da produção de biogás, o ideal é adotar duas temperaturas de operação, temperatura termófila para os estágios de hidrólise e acidogênese e temperatura de operação mesofílica para o estágio de metanogênese, buscando dessa forma aumentar o volume de gás produzido. Os melhores resultados obtidos são com temperaturas termófila, com alta concentração de metano e menor acúmulo de ácidos graxos voláteis.

5.2.3 Determinação da concentração de sólidos

Foi determinada a concentração de sólidos totais, fixos e voláteis da biomassa antes do processo de digestão anaeróbia e da biomassa digerida. Os resultados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Concentração de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis da biomassa antes e depois do processo de fermentação anaeróbica do esterco bovino fresco.

	Sólidos Totais (%)	Sólidos Fixos (%)	Sólidos Voláteis (%)
Biomassa	8,1 ± 2,0	2,2 ± 2,5	5,8 ± 1,68
Biomassa digerida	6,5 ± 1,16	1,6 ± 2,8	4,9 ± 1,42

A biomassa avaliada apresentou uma concentração de sólidos totais de 8,1%, classificando-se como digestão anaeróbica úmida, pois a concentração de sólidos totais é menor que 10% (LIOTTA *et al.*, 2014). A digestão anaeróbica ocorre em biomassa que apresentam concentração de sólidos totais no intervalo de 5 a 35% (LIN *et al.*, 2018). An *et al.* (2017), relata que a melhor produção de biogás é obtida com biomassas que possuem 20% de sólidos totais. Já Benbelkacem *et al.* (2015), afirma que em seus estudos a concentração de 8% de sólidos totais mostrou uma produção 1,5 vezes maior que outras concentrações estudadas. A concentração de sólidos totais ideal para melhor produção de biogás varia bastante em decorrência do tipo de matéria orgânica explorada. Os sólidos voláteis representam 80% dos sólidos totais e apresentaram uma redução de 15%. Esses resultados corroboram com os reatados por Ahmadi-Pirlou *et al.* (2017) em seu estudo, em que afirma que esses valores se encontram dentro do intervalo de concentrações que mostram bons resultados na produção de biogás.

5.2.4 Concentração de ácidos graxos voláteis

A concentração de ácidos graxos voláteis (AGV) foi determinada no início e ao final do processo de digestão anaeróbica. A Tabela 10 apresenta os resultados dessa determinação.

Tabela 10 - Concentração de AGV antes e depois do processo de fermentação anaeróbica do esterco bovino fresco.

	AGV (mg HAc.L ⁻¹)
Concentração de AGV inicial	58,32 ± 0,82
Concentração de AGV final	32,05 ± 0,96

As concentrações de AGVs é um importante parâmetro no monitoramento de produção de biogás, o acúmulo excessivo de AGVs provoca declínio dos valores de pH. Tal

fator pode causar severa redução da população de bactérias metanogênicas, interferindo no processo de produção de biogás e reduzindo o volume final da produção de metano (KUMAR; SAMADDER, 2020).

Para Ren *et al.* (2018), um biodigestor estável opera com concentrações de AGV entre 50 e 250 mg/L, essa afirmação corrobora que os valores encontrados nesse estudo demonstram que o processo ocorreu de forma estável sob esse parâmetro. O acúmulo de AGV ocorre quando a produção é maior que o consumo desses ácidos, dessa forma, é esperado que ao final desse processo haja uma redução da concentração de AGV.

A alta concentração de AGV pode ser corrigida com adição de NaHCO_3 ou ferro zero valente. Gao *et al.* (2015), descobriu que o uso desse recurso não só inibiu o acúmulo de AGV, como aumentou a produção de biogás em 48%.

5.2.5 Relação carbono nitrogênio (C/N)

O resultado da determinação da relação C/N da biomassa utilizada para a produção de biogás foi de 13,28 ($\pm 2,13$). O esterco bovino é uma biomassa de baixa relação C/N (KUMAR; SAMADDER, 2020). Para um processo de digestão anaeróbica eficaz a relação C/N ideal deve estar no intervalo de 20 a 30, porém alguns pesquisadores adotam faixas mais amplas de relações C/N aceitáveis para a geração de biogás (por exemplo, lodo e esterco bovino, que possuem relação C/N inferior a 20. Tsapekos *et al.* (2018), em sua investigação, afirma que a relação C/N de esterco bovino ideal é de 16,9.

A relação C/N encontrada nesse estudo foi de 13,28 ($\pm 2,13$), considerando o desvio padrão, pode-se afirmar que 15,41 seja um valor muito próximo do aceitado por Tsapekos *et al.* (2018). A relação C/N baixa é um parâmetro que pode provocar a inibição da produção de biogás, pois apresenta baixa quantidade de lipídio e carboidratos solúveis que podem aumentar a biometanação (TSAPEKOS *et al.*, 2018), além de reduzir os valores de pH, aumentar o acúmulo de AVGs e produção de amônia (KUMAR; SAMADDER, 2020; REN *et al.*, 2018)

A seguir são apresentados os resultados do volume de biogás gerado. É possível observar que estes valores são semelhantes aos encontrados por outros pesquisadores em circunstâncias semelhantes, e que, portanto, a baixa relação C/N não foi um fator inibidor na produção de biogás.

5.2.6 Volume de biogás e concentração de metano

O resultado do volume de biogás gerado nesse estudo, assim como a concentração de metano estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Volume de biogás e concentração de metano.

Volume de biogás (L.L ⁻¹ .d ⁻¹)	1,56 ± 0,65
Concentração de metano (%)	65 ± 0,05

Veroneze *et al.* (2019), investigou a produção de biogás em protótipos de biodigestores semelhantes ao estudado nesse trabalho, porém os pesquisadores avaliaram a produção de biogás a partir de esterco suíno e variações de doses de glicerina. Nesse estudo os pesquisadores encontraram a produção diária de 1,16 L.L⁻¹.d⁻¹ para o tratamento sem adição de glicerina, o tratamento controle. Bi *et al.* (2020), obteve uma produção de 1,48 L.L⁻¹.d⁻¹, utilizando como biomassa o esterco bovino. Portanto, o valor encontrado nesse estudo corrobora com os resultados de outros pesquisadores produzidos em condições semelhantes.

Praciano *et al.* (2020), em seu estudo avaliou o consumo diário de biogás para funcionar por 1h duas chamas de um fogão e obteve como resultado o consumo de 0,135 m³, usando como parâmetro esse resultado, tem-se que o gás gerado nessa investigação é capaz de funcionar um fogão de duas chamas por aproximadamente 3,5 h.

Quanto à concentração de metano, o biogás avaliado apresentou uma concentração de 65%, corroborando com os valores encontrados por Bi *et al.* (2020), que encontraram uma concentração de 67% de metano em biogás gerado a partir de esterco bovino, em retenção hidráulica por 25 dias.

Diante do exposto, é possível afirmar que a geração de biogás utilizando um protótipo de biodigestor, constituído por reservatórios plásticos de 200 ml, sob as condições climáticas do Ceará, utilizando esterco de bovinos mestiços sem raça definida e alimentação equilibrada, é viável e os resultados obtidos nessa caracterização da produção de biogás corroboram com os resultados obtidos em outras investigações.

5.3 Projeto conceitual

O protótipo de biodigestor demonstrou bons resultados, não apresentando vazamentos de gás. Nenhum fator estrutural comprometeu a geração de biogás, demonstrando boa resistência ao clima semiárido, mesmo quando exposto ao sol.

Um protótipo de biodigestor foi instalado no município de Forquilha em uma das residências rurais visitadas. A família é constituída por 4 pessoas, sendo um casal e dois filhos (menor de 18 anos). O protótipo de biodigestor foi alimentado com esterco de suínos, em regime de batelada, com TRH de 30 dias, apenas o volume de biogás foi mensurado, apresentando resultados semelhantes ao encontrado na caracterização da produção de biogás realizada no município de Fortaleza. Foram monitorados 3 ciclos de produção de biogás. O protótipo de biodigestor ficou exposto as intemperes do clima semiárido nordestino, do município de Forquilha, por 1 ano (12 meses), de março/2020 a março/2021 (Figura 10). O biodigestor apresentou resultados satisfatórios de produção de biogás e boa resistência estrutural. Devido a pandemia de Covid 19, não foi possível realizar todas as avaliações do protótipo em Forquilha como era pretendido no início do projeto.

Figura 10 – Protótipo de biodigestor instalado em uma residência rural no município de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Diante dos resultados obtidos com estudo preliminar realizado no protótipo de biodigestor para a caracterização da produção de biogás, optou-se por utilizar os mesmos materiais construtivos para o projeto conceitual do biodigestor em escala real.

5.3.1 Dimensionamento do volume do biodigestor em escala real

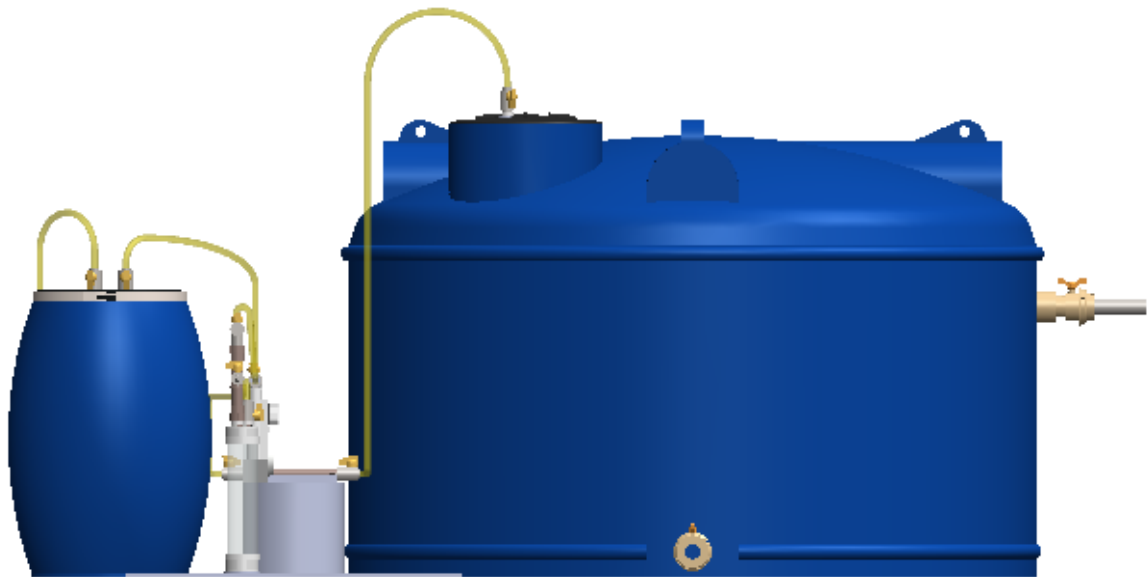
Para dimensionar o volume do biodigestor em escala real utilizou-se a equação 1, descrita na metodologia, o volume de carga diária adotado foi o volume médio de esterco suíno produzido diariamente por 10 animais adultos. Segundo a Embrapa (2016), um suíno adulto produz em média 2,35 kg de esterco por dia e 5,8 kg de esterco + urina. Ainda segundo a Saviotti *et al.* (2016), 1 m³ de esterco possui em média 650 kg. Dessa forma, adotando um tempo de retenção hidráulica (TRH) de 30 dias o volume do biodigestor deveria ser de no mínimo 2,7 m³.

Portanto adotou-se 5 m³, pois o biodigestor proposto constituído de paredes rígidas, diferente dos modelos tradicionais chinês e indiano que possui campânulas móveis e o canadense que possui lona inflável. Dessa forma o modelo proposto necessita de um volume maior, também, para o acúmulo de gás. O volume de 5 m³ também foi adotado visando possíveis aumentos de carga diária de matéria orgânica. Também deve-se relatar que o reservatório adotado só é comercializado em tamanhos (capacidade de volume) menores que 2,7 m³ ou de 5 m³.

5.3.2 Projeto conceitual do biodigestor em escala real

O projeto conceitual do biodigestor em escala real proposto está representado na Figura 11. No Anexo A estão elencados os desenhos técnicos com as vistas frontal, isométrica, superior, explosão frontal e explosão isométrica, assim como o desenho de cada elemento construtivo com as cotas de dimensão.

Figura 11. Representação em desenho computacional do projeto conceitual do biodigestor em escala real.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

O reservatório adotado pra funcionar como reator químico é uma caixa d'água com volume de 5 m³ de polietileno comercializada em materiais de construção, esse reservatório é constituído pelo mesmo material dos tanques de 200 L utilizados no protótipo de biodigestor.

O reator químico é conectado por mangueiras para gás aos filtros de purificação, sendo o primeiro um tubo de PVC de 25 mm empacotado com palha de aço e o segundo um tubo de acrílico de 3 mm de espessura e 100 mm de diâmetro, com água, que funciona como borbulhador, os filtros também estão conectados por mangueiras de gás ao medidor de gás, que se conecta ao gasômetro (reservatório de 200 L de polietileno), onde o gás gerado será acumulado. Ao final do ciclo de 30 dias de TRH o gasômetro pode ser substituído por outro reservatório semelhante, para que inicie um novo ciclo e o gasômetro cheio poderá ser levado até a residência do agricultor que funcionará como um botijão de gás.

Todos os elementos construtivos adotados são de fácil acesso, ou seja, facilmente encontrados no comércio, são peças de fácil montagem. Também buscou-se adotar peças de custo acessível. Todas as peças são roscáveis, a única ferramenta utilizada na montagem foi uma furadeira com lâmina tipo serra-copo, colas para cano e fitas tipo veda rosca.

5.3.2.1 Avaliação da viabilidade econômica do projeto conceitual proposto

Na Tabela 12 estão listadas todas as peças constituintes do projeto conceitual, as quantidades, o valor médio de cada peça comercializada no Ceará e o orçamento final do projeto.

Tabela 12 - Peças constituintes e custo econômico do projeto conceitual do biodigestor

Descrição	Quantidade	Valor (R\$)
Tanque de polietileno 5.000L	1	2.599,00
Tanque de polietileno 200L	1	210,00
Tubo de 100 mm de acrílico (1 m)	1	200,00
Tubo de 50 mm de PVC (1 m)	1	14,00
Tubo de 25 mm de PVC (1 m)	1	8,00
CAP de 100 mm	2	12,00
CAP de 25 mm	2	3,00
Registro esfera 50 mm	2	50,00
Mangueira para gás (1 m)	10	100,00
Válvula esfera angular para gás	9	332,50
Flange adaptador soldável 50 mm	2	62,00
Flange adaptador soldável 25 mm	4	48,00
Conexão T soldável 25 mm	1	1,50
Luva com rosca 25 mm	2	6,00
Joelho 90° com rosca $\frac{3}{4}$	2	9,00
Cola adesivo para tubo PVC 75 g	1	5,25
Fita veda rosca tigre 18 mm x 50 m	1	10,70
	TOTAL	3.637,70


*Data da consulta de valores 19/09/2021; valor do dólar comercial nesta data 1 USD = 5,56 BRL; Salário mínimo vigente R\$1.192,40 (Um mil cento e noventa e dois reais e quarenta centavos).

Para calcular o *payback* é necessário estimar a produção de biogás gerada em 1 mês, para isso, adotou-se o valor médio de esterco produzido diariamente por 10 suínos adultos. Segundo a BGS (2021), cada suíno adulto produz 6 kg de esterco por dia e 0,13 m³ de biogás por dia, que equivale a 0,08 kg de GLP. Sendo assim uma criação de 10 animais adultos produzem por mês 39 m³ de biogás que equivalem a 2 botijões de gás de cozinha (GLP) de 13 kg. Considerando-se que o consumo médio de uma família de 4 pessoas de agricultura familiar do município de Forquilha é de 1 botijão de gás, e que esse é comercializado a R\$110,00 (Cento e dez reais), tem-se que o *payback* do investimento para adquirir um biodigestor é de 33 meses.


Para que o biodigestor proposto seja acessível economicamente aos agricultores, buscou-se uma linha de crédito adequada para financiar esse projeto. Essa linha de crédito é a Agroamigo Sol do Banco do Nordeste. Na figura 12 está a simulação completa das condições de financiamento do projeto do biodigestor. Para a simulação adotou-se uma entrada de 5%, que equivale a R\$ 185,00 (Cento e oitenta e cinco reais), 6 meses de carência tempo necessário para a implantação do projeto e início de uma produção de biogás estável e 36 parcelas, haja visto que o *payback* é de 33 meses.

O valor atribuído a energia consumida mensalmente está corrigido, prevendo os aumentos vigentes. As parcelas tem valor decrescente, a primeira R\$125,02 (Cento e vinte e cinco reais e dois centavos), e a última R\$98,64 (Noventa e oito reais e sessenta e quatro centavos), as seis primeiras parcelas possuem valor superior ao custo de um botijão de gás de 13 kg, valor que já faz parte do orçamento das famílias de agricultura familiar do município de Forquilha, porém o valor não ultrapassa R\$15,00 (Quinze reais) de diferença, e por tanto não é algo que inviabilize o financiamento para a aquisição do biodigestor.

Figura 12 – Simulação do financiamento da linha de crédito Agroamigo Sol do Banco do Nordeste para aquisição do biodigestor proposto.



FNE SOL
SIMULADOR DE INVESTIMENTO - V1.3 (WEB)



1) Trata-se de SIMULAÇÃO, portanto, os valores das parcelas são apenas parâmetros e poderão divergir das quantias que serão efetivamente cobradas.
2) Está sendo considerado no cálculo um período de 03 meses para implantação do sistema.

1 - Dados do Projeto		2 - Selecionar a Área		4 - Esquema de desembolso		
Valor da conta mensal	R\$ 110,00	FNE COMERCIAL/INDUSTRIAL/SERVIÇOS		FNE Verde (MB-OC-5-7 Item 9.14.5) 3 parcelas		
Valor do Projeto	<input type="checkbox"/> Estimativa	3 - Dados do Financiamento		Sequencial	Data	Valor
	<input checked="" type="checkbox"/> Da Proposta	R\$ 3.700,00	Encargos anuais	11,16%	1º (70%)	08/09/2021
Recursos próprios	5%	Bonus de adimplência sobre juros	15%	2º (20%)	08/10/2021	R\$ 703,00
	R\$ 185,00	Prazo de Carência (meses)	6	3º (10%)	07/11/2021	R\$ 351,50
Valor Financiado	R\$ 3.515,00	Prazo de amortização (meses)	36	TOTAL DE ECONOMIA NO PERÍODO R\$ 790,05		
Reajuste anual da energia	10%	Data da contratação	08/09/2021			
		Periodicidade das Prestações	Mensal			

Parcela	DATAS DOS PAGAMENTOS	RECEBIMENTO DE PRESTAÇÃO					Pagamento Total Concessionária no período	Economia no período
		PRINCIPAL	JUROS	Total Financiamento	Bônus de adimplência	Prestação com Bônus		
		R\$ 3.515,00	R\$ 763,55	R\$ 4.278,55	R\$ 114,53	R\$ 4.164,02	R\$ 5.284,11	R\$ 790,05
	08/12/2021		R\$ 82,77	R\$ 82,77	R\$ 12,42	R\$ 70,35	R\$ 330,00	-R\$ 70,35
	08/03/2022		R\$ 94,37	R\$ 94,37	R\$ 14,16	R\$ 80,22	R\$ 330,00	R\$ 249,78
1	08/04/2022	R\$ 97,63	R\$ 32,23	R\$ 129,86	R\$ 4,83	R\$ 125,02	R\$ 110,00	-R\$ 15,02
2	08/05/2022	R\$ 97,63	R\$ 30,31	R\$ 127,94	R\$ 4,55	R\$ 123,40	R\$ 110,00	-R\$ 13,40
3	08/06/2022	R\$ 97,63	R\$ 30,43	R\$ 128,06	R\$ 4,57	R\$ 123,50	R\$ 110,00	-R\$ 13,50
4	08/07/2022	R\$ 97,63	R\$ 28,58	R\$ 126,21	R\$ 4,29	R\$ 121,93	R\$ 110,00	-R\$ 11,93
5	08/08/2022	R\$ 97,63	R\$ 28,64	R\$ 126,27	R\$ 4,30	R\$ 121,98	R\$ 110,00	-R\$ 11,98
6	08/09/2022	R\$ 97,63	R\$ 27,75	R\$ 125,38	R\$ 4,16	R\$ 121,22	R\$ 121,00	-R\$ 0,22
7	08/10/2022	R\$ 97,63	R\$ 25,98	R\$ 123,61	R\$ 3,90	R\$ 119,72	R\$ 121,00	R\$ 1,28
8	08/11/2022	R\$ 97,63	R\$ 25,96	R\$ 123,59	R\$ 3,89	R\$ 119,70	R\$ 121,00	R\$ 1,30
9	08/12/2022	R\$ 97,63	R\$ 24,25	R\$ 121,88	R\$ 3,64	R\$ 118,24	R\$ 121,00	R\$ 2,76
10	08/01/2023	R\$ 97,63	R\$ 24,17	R\$ 121,80	R\$ 3,63	R\$ 118,17	R\$ 121,00	R\$ 2,83
11	08/02/2023	R\$ 97,63	R\$ 23,27	R\$ 120,90	R\$ 3,49	R\$ 117,41	R\$ 121,00	R\$ 3,59
12	08/03/2023	R\$ 97,63	R\$ 20,20	R\$ 117,83	R\$ 3,03	R\$ 114,80	R\$ 121,00	R\$ 6,20
13	08/04/2023	R\$ 97,63	R\$ 21,48	R\$ 119,11	R\$ 3,22	R\$ 115,89	R\$ 121,00	R\$ 5,11
14	08/05/2023	R\$ 97,63	R\$ 19,92	R\$ 117,55	R\$ 2,99	R\$ 114,56	R\$ 121,00	R\$ 6,44
15	08/06/2023	R\$ 97,63	R\$ 19,69	R\$ 117,32	R\$ 2,95	R\$ 114,37	R\$ 121,00	R\$ 6,63
16	08/07/2023	R\$ 97,63	R\$ 18,19	R\$ 115,82	R\$ 2,73	R\$ 113,09	R\$ 121,00	R\$ 7,91
17	08/08/2023	R\$ 97,63	R\$ 17,90	R\$ 115,53	R\$ 2,69	R\$ 112,85	R\$ 121,00	R\$ 8,15
18	08/09/2023	R\$ 97,63	R\$ 17,01	R\$ 114,64	R\$ 2,55	R\$ 112,09	R\$ 133,10	R\$ 21,01
19	08/10/2023	R\$ 97,63	R\$ 15,59	R\$ 113,22	R\$ 2,34	R\$ 110,88	R\$ 133,10	R\$ 22,22
20	08/11/2023	R\$ 97,63	R\$ 15,22	R\$ 112,85	R\$ 2,28	R\$ 110,57	R\$ 133,10	R\$ 22,53
21	08/12/2023	R\$ 97,63	R\$ 13,86	R\$ 111,49	R\$ 2,08	R\$ 109,41	R\$ 133,10	R\$ 23,69
22	08/01/2024	R\$ 97,63	R\$ 13,43	R\$ 111,06	R\$ 2,01	R\$ 109,04	R\$ 133,10	R\$ 24,06
23	08/02/2024	R\$ 97,63	R\$ 12,53	R\$ 110,16	R\$ 1,88	R\$ 108,28	R\$ 133,10	R\$ 24,82
24	08/03/2024	R\$ 97,63	R\$ 10,88	R\$ 108,51	R\$ 1,63	R\$ 106,88	R\$ 133,10	R\$ 26,22
25	08/04/2024	R\$ 97,63	R\$ 10,74	R\$ 108,37	R\$ 1,61	R\$ 106,76	R\$ 133,10	R\$ 26,34
26	08/05/2024	R\$ 97,63	R\$ 9,53	R\$ 107,16	R\$ 1,43	R\$ 105,73	R\$ 133,10	R\$ 27,37
27	08/06/2024	R\$ 97,63	R\$ 8,95	R\$ 106,58	R\$ 1,34	R\$ 105,24	R\$ 133,10	R\$ 27,86
28	08/07/2024	R\$ 97,63	R\$ 7,80	R\$ 105,43	R\$ 1,17	R\$ 104,26	R\$ 133,10	R\$ 28,84
29	08/08/2024	R\$ 97,63	R\$ 7,16	R\$ 104,79	R\$ 1,07	R\$ 103,72	R\$ 133,10	R\$ 29,38
30	08/09/2024	R\$ 97,63	R\$ 6,27	R\$ 103,90	R\$ 0,94	R\$ 102,96	R\$ 146,41	R\$ 43,45
31	08/10/2024	R\$ 97,63	R\$ 5,20	R\$ 102,83	R\$ 0,78	R\$ 102,05	R\$ 146,41	R\$ 44,36
32	08/11/2024	R\$ 97,63	R\$ 4,48	R\$ 102,11	R\$ 0,67	R\$ 101,44	R\$ 146,41	R\$ 44,97
33	08/12/2024	R\$ 97,63	R\$ 3,47	R\$ 101,10	R\$ 0,52	R\$ 100,58	R\$ 146,41	R\$ 45,83
34	08/01/2025	R\$ 97,63	R\$ 2,69	R\$ 100,32	R\$ 0,40	R\$ 99,91	R\$ 146,41	R\$ 46,50
35	08/02/2025	R\$ 97,63	R\$ 1,79	R\$ 99,42	R\$ 0,27	R\$ 99,15	R\$ 146,41	R\$ 47,26
36	08/03/2025	R\$ 97,95	R\$ 0,81	R\$ 98,76	R\$ 0,12	R\$ 98,64	R\$ 146,41	R\$ 47,77

1) Esta Planilha trata-se de mera simulação, não constituindo-se sob nenhuma hipótese proposta de crédito.

Diante dos dados expostos é possível afirmar que o projeto conceitual proposto é viável e acessível economicamente para o público alvo dessa pesquisa, que são famílias da agricultura familiar do semiárido nordestino, utilizando como referência o perfil de consumo de famílias da agricultura familiar do município de Forquilha.

De acordo com o índice DRIB (Indicadores de risco de desastres no Brasil), 1113 municípios foram classificados altamente vulneráveis, enquanto 778 municípios (69,9% deste grupo) estavam concentrados em oito estados, a maioria nas regiões Norte e Nordeste (Almeida *et al.*, 2016). Segundo Vieira *et al.*, (2020), a região Nordeste do Brasil apresenta baixos indicadores socioeconômicos, que são mais críticos nas áreas rurais e no sertão (áreas do interior), tornando essa a região mais pobre do Brasil.

Diante da situação de vulnerabilidade socioeconômica da população inserida nas regiões rurais do semiárido brasileiro, o uso de biodigestores para produção de biogás utilizando como matéria orgânica o esterco dos animais de produção é uma ferramenta tecnológica de convivência com semiárido capaz de mitigar a vulnerabilidade da insegurança de energia térmica e concomitantemente a insegurança alimentar, haja vista, que a maior disponibilidade de energia térmica, em forma de biogás, permite um melhor aproveitamento de alimentos, como por exemplo a cocção de doces e compotas de frutas, bolos, entre outros, melhorando a diversidade da alimentação dessas famílias.

Os sucessivos aumentos do preço do gás de cozinha têm obrigado as populações mais vulneráveis a adotar medidas alternativas para substituir o gás de cozinha, porém nem sempre as escolhas são seguras, os jornais noticiam com frequência casos de queimaduras pelo uso de álcool combustível por exemplo (AMOURY, 2021).

Portanto é possível afirmar que o uso do biogás é uma alternativa que gera energia a partir de um material que seria desprezado na natureza, sem valor comercial, que sequestra carbono, ou seja, a produção de biogás é ambientalmente responsável, tornando-o uma tecnologia que pode ser utilizada para melhorar a convivência com o semiárido, trazendo benefícios e melhorando a qualidade de vida de quem utiliza.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que um protótipo de biodigestor com reator de 200 L foi construído e a produção de biogás foi caracterizada, obtendo-se resultados satisfatórios compatíveis com a literatura. O protótipo também apresentou boas condições de resistência, não apresentando vazamentos, desgastes comprometedores dos elementos construtivos. Diante dos resultados foi proposto um projeto conceitual de um biodigestor em escala real, utilizando os mesmos elementos construtivos do protótipo de biodigestor avaliado. As famílias de agricultura familiar visitadas tem em média 6 integrantes, utilizam 1 botijão de gás de 13 kg por mês e uma média de 1 m³ de lenha para cocção de alimentos e criam animais de produção (aves, suínos e bovinos). O projeto conceitual proposto foi representado em desenho computacional e ficou orçado em R\$3.670,37 (Três mil, seiscentos e setenta reais e trinta e sete centavos), o *payback* foi de 33 meses, considerando o consumo mensal de 1 botijão de gás de cozinha (GLP). Também foi realizada uma simulação de financiamento para o projeto em 36 prestações, utilizando o Agroamigo Sol como linha de financiamento, de valores decrescente, sendo a primeira R\$125,02 (Cento e vinte e cinco reais e dois centavos), e a última R\$98,64 (Noventa e oito reais e sessenta e quatro centavos). E por tanto mostrou-se um projeto viável economicamente.

REFERÊNCIAS

AGENDA 2030. **Conheça a Agenda 2030**: conheça o plano de ação global para mudar o mundo até 2030. Conheça o plano de ação global para mudar o mundo até 2030. 2021. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>. Acesso em: 23 out. 2021.

AGYEMAN, Fred O.; TAO, Wendong. Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: Effects of food waste particle size and organic loading rate. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 133, p.268-274, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.016>.

AHMADI-PIRLOU, Mansour; EBRAHIMI-NIK, Mohammadali; KHOJASTEHPOUR, Mehdi; EBRAHIMI, Seyed Hadi. Mesophilic co-digestion of municipal solid waste and sewage sludge: effect of mixing ratio, total solids, and alkaline pretreatment. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 125, p. 97-104, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.09.004>.

ALMEIDA, Adriana Palma de; LAMARDO, Leda Conceição Antonia; SHUNDO, Luzia; SILVA, Simone Alves da; NAVAS, Sandra Aparecida; ALABURDA, Janete; RUVIERI, Valter; SABINO, Myrna. Occurrence of deoxynivalenol in wheat flour, instant noodle and biscuits commercialised in Brazil. **Food Additives & Contaminants: Part B**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 251-255, 16 jun. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19393210.2016.1195880>.

ALVES, J. J. A. **Geocologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro**. CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem, Rio Claro, 2(1): 58-71, 2007

AMOURY, Jamyle. **Família se queima ao usar álcool para cozinhar por falta de gás e precisa de ajuda para pagar tratamento**, em Anápolis. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2021/09/02/familia-se-queima-ao-usar-alcool-para-cozinhar-por-falta-de-gas-e-precisa-de-ajuda-para-pagar-tratamento-em-anapolis.ghtml>. Acesso em: 9 set. 2021.

AN, Dong; WANG, Tianfeng; ZHOU, Qi; WANG, Chaosheng; YANG, Qiyong; XU, Bingjie; ZHANG, Qingfang. Effects of total solids content on performance of sludge mesophilic anaerobic digestion and dewaterability of digested sludge. **Waste Management**, [s.l.], v. 62, p. 188-193, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.042>.

ANGELIDAKI, Irini; TREU, Laura; TSAPEKOS, Panagiotis; LUO, Gang; CAMPANARO, Stefano; WENZEL, Henrik; KOUGIAS, Panagiotis G.. Biogas upgrading and utilization: current status and perspectives. **Biotechnology Advances**, [s.l.], v. 36, n. 2, p. 452-466, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011>.

ANGONESE, André R.; CAMPOS, Alessandro T.; ZACARKIM, Carlos E.; MATSUO, Melissa S.; CUNHA, Francielly. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 745-750, set. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662006000300030>.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Washington, 2005.

ARYAL, Nabin; KVIST, Torben; AMMAM, Fariza; PANT, Deepak; OTTOSEN, Lars D.M.. An overview of microbial biogas enrichment. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 264, p. 359-369, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.013>.

BACK, N. et al. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. Editora Blucher, 2000.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2003.

BENBELKACEM, H.; BOLLON, J.; BAYARD, R.; ESCUDIÉ, R.; BUFFIÈRE, P.. Towards optimization of the total solid content in high-solid (dry) municipal solid waste digestion. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 273, p. 261-267, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.03.048>.

BGS. Saiba como fazer o cálculo da produção de biogás. 2021. Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/calculo-da-producao-de-biogas/>. Acesso em: 9 set. 2021.

BHARATHIRAJA, B.; SUDHARSANA, T.; JAYAMUTHUNAGAI, J.; PRAVEENKUMAR, R.; CHOZHAVENDHAN, S.; IYYAPPAN, J.. RETRACTED: biogas production: a review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 90, p. 570-582, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.093>.

BI, Shaojie; HONG, Xiujie; YANG, Hongzhi; YU, Xinhui; FANG, Shumei; BAI, Yan; LIU, Jinli; GAO, Yamei; YAN, Lei; WANG, Weidong. Effect of hydraulic retention time on anaerobic co-digestion of cattle manure and food waste. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 150, p. 213-220, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.091>.

BNB. **Agroamigo Sol**. 2021. Banco do Nordeste. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/agroamigo/agroamigo-sol>. Acesso em: 23 out. 2021.

BNDES. **Pronaf - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar**. 2018. Banco Nacional do Desenvolvimento. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf>. Acesso em: 23 out. 2021.

BRASIL. Decreto nº. 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 15 de jan. 2004. Seção 1, p. 2. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm; Acesso em: 15/07/2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Desmatamento na Caatinga já destruiu metade da vegetação original** Imprimir E-mail. 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/6122-desmatamento-na-caatinga-ja-destruiu-metade-da-vegetacao-original>. Acesso em: 28 jul. 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **O que é a agricultura familiar**. 2016. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/o-que-%C3%A9-agricultura-familiar>. Acesso em: 26 jul. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caatinga: Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite**. Brasília: Brasil, 2016. 32 p. Relatório técnico 209-2010. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80120/HEX_RelatorioBiomaCaatinga_2009-2010_V2-MMA.pdf. Acesso em: 28 jul. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Ministério divulga relatório sobre a Caatinga**. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=2096>. Acesso em: 28 jul. 2018.

BRASIL. Governo do Brasil. **Agricultura familiar do Brasil é 8ª maior produtora de alimentos do mundo**. 2018. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/editoria/economia-e-financas/2018/06/agricultura-familiar-brasileira-e-a-8a-maior-produtora-de-alimentos-do-mundo>. Acesso em: 26 jul. 2018.

BRASIL. **Renovabio**. 2021. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>. Acesso em: 23 out. 2021.

BRASIL. **Semiárido Brasileiro**. 2021. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/insa/semiario-brasileiro>. Acesso em: 23 out. 2021.

BRITO, P. **Análise e viabilidade de projetos de investimentos**. São Paulo: Atlas, 2012.
CAMPOS, A. C. C. **Viabilidade econômico-financeira de um novo ponto comercial de artigos de luxo**. 2017. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/24452/1/Tese%20-%20Andr%C3%A9%20Crispim%20Costa%20Campos.pdf>. Acesso em: 10 Jun 2021

CARO, Dario. Greenhouse Gas, Livestock and Trade. **Reference Module In Food Science**, p.322-328, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21971-9>.

ALENCASTRO, Catarina. O Globo. **Desmatamento: caatinga já perdeu 45,39% de sua vegetação nativa, diz Ministério do Meio Ambiente**. 2011. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/politica/desmatamento-caatinga-ja-perdeu-4539-de-sua-vegetacao-nativa-diz-ministerio-do-meio-ambiente-3045763>. Acesso em: 28 jul. 2018.

CEBDS, Conselho Empresarial Brasileiro Para O Desenvolvimento Sustentável. **O que é o Acordo de Paris?** 2019. Disponível em: <https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.YXSgpRrMLIV>. Acesso em: 23 out. 2021.

CHEN, Ye; CHENG, Jay J.; CREAMER, Kurt S.. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p.4044-4064, jul. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>.

CHOONG, Yee Yaw; CHOU, Kian Weng; NORLI, Ismail. Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: A critical review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p.2993-3006, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.036>.

COGERH. Açude Forquilha Inventário Ambiental. 2007. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/pdf/inventarios/2008/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Forquilha.pdf>. Acesso em: 09 set. 2021.

COLATTO, L; LANGER, M. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unoesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2011.

CHIAVENATO, I. **Empreendedorismo: dando asas ao espírito empreendedor: Empreendedorismo e Viabilização de Novas Empresas: Um Guia Eficiente Para Iniciar e Tocar o Seu Próprio Negócio**. 2 ed. rev e atualizada. São Paulo: Saraiva, 2007. Disponível em: <http://www.buscadaexcelencia.com.br/wp-content/uploads/2010/08/LivroEmpreendedorismo-Idalberto-Chiavenato.pdf>. Acesso em: 06 out. 2021.

DAI, Xiaohu; HU, Chongliang; ZHANG, Dong; CHEN, Yinguang. A new method for the simultaneous enhancement of methane yield and reduction of hydrogen sulfide production in the anaerobic digestion of waste activated sludge. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 243, p. 914-921, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.036>.

FACCENDA, Andressa; ZAMBOM, Maximiliane Alavarse; AVILA, André Sanches de; GARCIAS, Jéssica; ECKSTEIN, Everline Inês; FORNARI, Josias Luis; ALMEIDA, Kleves Vieira de; SANTOS, Geraldo Tadeu. Nutrient digestibility and ruminal parameters of cattle fed dried brewers grains and *Saccharomyces cerevisiae*. **Livestock Science**, [s.l.], v. 225, p. 109-115, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2019.05.003>.

FENG, Lu; WARD, Alastair James; MOSET, Veronica; MØLLER, Henrik Bjarne. Methane emission during on-site pre-storage of animal manure prior to anaerobic digestion at biogas plant: effect of storage temperature and addition of food waste. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 225, p. 272-279, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.079>.

FONGARO, G.; VIANCELLI, A.; MAGRI, M.e.; ELMAHDY, E.M.; BIESUS, L.L.; KICH, J.D.; KUNZ, A.; BARARDI, C.R.M.. Utility of specific biomarkers to assess safety of swine manure for biofertilizing purposes. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 479-480, p. 277-283, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.004>.

GAO, Shumei; HUANG, Yue; YANG, Lili; WANG, Hao; ZHAO, Mingxing; XU, Zhiyang; HUANG, Zhenxing; RUAN, Wenquan. Evaluation the anaerobic digestion performance of solid residual kitchen waste by NaHCO₃ buffering. **Energy Conversion And Management**, [s.l.], v. 93, p. 166-174, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.010>.

GAROMA, Temesgen; PAPPATERRA, David. An investigation of ultrasound effect on digestate solubilization and methane yield. **Waste Management**, [s.l.], v. 71, p.728-733, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.021>.

GIODA, Adriana. Residential fuelwood consumption in Brazil: environmental and social implications. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 120, p. 367-375, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.014>.

GOLDIN, A. **Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils**. Commun. Soil Sci. Plant. Anal., 18:1111-1116, 1987.

HACKL, Roman; HANSSON, Julia; NORÉN, Fredrik; STENBERG, Olle; OLSHAMMAR, Mikael. Cultivating *Ciona intestinalis* to counteract marine eutrophication: environmental assessment of a marine biomass based bioenergy and biofertilizer production system. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 124, p. 103-113, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.053>.

HIJAZI, O.; ABDELSALAM, E.; SAMER, M.; ATTIA, Y.a.; AMER, B.m.a.; AMER, M.a.; BADR, M.; BERNHARDT, H.. Life cycle assessment of the use of nanomaterials in biogas production from anaerobic digestion of manure. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 148, p. 417-424, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.048>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de Biomas e de Vegetação. 2004. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 28 jul. 2018

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**: Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 777 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf. Acesso em: 25 jul. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Semiárido Brasileiro**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 28 jul. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário**: resultados definitivos. Rio de Janeiro: Ibge, 2017. 109 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 23 out. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro e Geografia e Estatística. **Forquilha**. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/forquilha/panorama>. Acesso em: 29 jul. 2018.

IBGE. **Forquilha**. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/forquilha.html>. Acesso em: 23 out. 2021.

IBGE. **Semiárido Brasileiro**. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974->

semiárido-brasileiro.html?=&t=o-que-e. Acesso em: 23 out. 2021.

IPCE. **PERFIL MUNICIPAL 2017 FORQUILHA**. 2017. O Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Forquilha_2017.pdf. Acesso em: 23 out. 2021.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KUMAR, Atul; SAMADDER, S.R.. Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: a review. **Energy**, [s.l.], v. 197, p. 117253-117263, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2020.117253>.

KUNZ, Airton; SULZBACH, Anelise. **Kit biogás portátil**. 2007. EMBRAPA. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60188/1/CUsersPiazzonDocuments16775.pdf>. Acesso em: 19 set. 2021.

LAY, Jiunn-Jyi; LI, Yu-You; NOIKE, Tatsuya. Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion. **Water Research**, [s.l.], v. 31, n. 6, p. 1518-1524, jun. 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354\(96\)00413-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354(96)00413-7)

LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/5_livro_ecologia_e_conservao_da_caatinga_203.pdf. Acesso em: 28 jul. 2018.

LEÓN, Erick; MARTÍN, Mariano. Optimal production of power in a combined cycle from manure based biogas. **Energy Conversion And Management**, [s.l.], v. 114, p. 89-99, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.002>.

LI, Xue; MUPONDWA, Edmund. Commercial feasibility of an integrated closed-loop ethanol-feedlot-biodigester system based on triticale feedstock in Canadian Prairies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 97, p. 401-413, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.051>.

LIN, Long; XU, Fuqing; GE, Xumeng; LI, Yebo. Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: a comparative review of anaerobic digestion and composting. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 89, p. 151-167, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.025>.

LIOTTA, Flavia; D'ANTONIO, Giuseppe; ESPOSITO, Giovanni; FABBRICINO, Massimiliano; VAN HULLEBUSCH, Eric D; LENS, Piet Ni; PIROZZI, Francesco; PONTONI, Ludovico. Effect of total solids content on methane and volatile fatty acid production in anaerobic digestion of food waste. **Waste Management & Research**, [s.l.], v. 32, n. 10, p. 947-953, out. 2014. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x14550740>.

MANESH, M.h. Khoshgoftar; REZAZADEH, A.; KABIRI, S.. A feasibility study on the

potential, economic, and environmental advantages of biogas production from poultry manure in Iran. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 159, p. 87-106, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.173>.

MAO, Chunlan; FENG, Yongzhong; WANG, Xiaojiao; REN, Guangxin. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 45, p. 540-555, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>.

MARÇAL, Nely Alexandre; SILVA, Richarde Marques da; SANTOS, Celso Augusto Guimarães; SANTOS, Joel Silva dos. Analysis of the environmental thermal comfort conditions in public squares in the semiarid region of northeastern Brazil. **Building And Environment**, [s.l.], v. 152, p. 145-159, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.016>.

MATTOS, Luís Cláudio; FARIAS JÚNIOR, Mário. **Manual do Biodigestor Sertanejo**. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2011. 55 p.

MATOS, Paulo Ricardo de; PRUDÊNCIO JUNIOR, Luiz Roberto; PILAR, Ronaldo; GLEIZE, Philippe Jean Paul; PELISSER, Fernando. Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: effect on the hydration, fresh and hardened properties. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 230, p. 116981, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116981>.

NESHAT, Soheil A.; MOHAMMADI, Maedeh; NAJAFPOUR, Ghasem D.; LAHIJANI, Pooya. Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 79, p. 308-322, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.137>.

OTTOSSON, S. Dynamic product development – DPD. **Technovation**, Vol. 24, p. 207-217, 2004.

PAGAN, R. P.; SILVA, C. E. S.; MELLO, C. H. P. Projeto conceitual no processo de desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos: estudos de caso em empresas incubadas. **Revista Produção Online, Florianópolis, SC**, v.13, n. 3, p. 1089-1117, jul./set. 2013.

PRACIANO, Aline Castro. **ENERGY BALANCE OF SMALL SCALE BIOGAS SYSTEM FOR FAMILY FARMING AGRICULTURE**. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

PRACIANO, Aline Castro; ALBIERO, Daniel; POSSUELO, Orlando de Moraes; SANTOS, Lucas Fernando Araújo dos; MONTEIRO, Leonardo de Almeida. Contribuição de biodigestores para a agricultura familiar. **Energia na Agricultura**, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 95-106, 20 mar. 2020. EIA Energy in Agriculture. <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n1p95-106>

PUGH, S. **Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering**. Harlow: AddisonWesley Publishing, 1991.

QUADROS, Danilo Gusmão de. **Biodigestor na agricultura familiar do semiárido**. Salvador: EDUNEB, 2009.

QUADROS, Danilo G. de; OLIVER, André de P. M.; REGIS, Ueliton; VALLADARES, Renata; SOUZA, Pedro H. F. de; FERREIRA, Edivaldo de J.. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 326-332, mar. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000300014>.

RAPOSO, F.; LARUBIA, M.A. de; FERNÁNDEZ-CEGRÍ, V.; BORJA, R.. Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: an overview relating to methane yields and experimental procedures. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 861-877, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.008>.

REN, Yuanyuan; YU, Miao; WU, Chuanfu; WANG, Qunhui; GAO, Ming; HUANG, Qiqi; LIU, Yu. A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: research updates and tendencies. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 247, p. 1069-1076, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.109>.

ROSIŃSKA, A.; KARWOWSKA, B.. Dynamics of changes in coplanar and indicator PCB in sewage sludge during mesophilic methane digestion. **Journal Of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 323, p.341-349, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.016>.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo; TOLEDO, José Carlos. SILVA, Sergio Luiz; ALLIPRANDINI, Dário Henrique. SCALICE, Régis Kovacs. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo**. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. 541 p.

SAHOTA, Shivali; SHAH, Goldy; GHOSH, Pooja; KAPOOR, Rimika; SENGUPTA, Subhanjan; SINGH, Priyanka; VIJAY, Vandit; SAHAY, Arunaditya; VIJAY, Virendra Kumar; THAKUR, Indu Shekhar. Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. **Bioresource Technology Reports**, [s.l.], v. 1, p. 79-88, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2018.01.002>.

SAVIOTTI, Bruno; PAZINATO, Cleandro; COSER, Fabiano; LEITÃO, Fabrício (Brasília). Embrapa. Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono. 2016. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Biog%C3%A1sFert+-+Suinocultura+de+baixa+emiss%C3%A3o+de+carbono.pdf>. Acesso em: 9 set. 2021.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Entenda a importância da análise financeira de um negócio**. Disponível em: <https://atendimento.sebraemg.com.br/biblioteca-digital/content/analise-da-viabilidade-economico-financeira-de-um-negocio>. Acessado em: 10 Jun 2021

ŞENOL, Halil; AÇĐKEL, Ünsal; DEMİR, Serkan; ODA, Volkan. Anaerobic digestion of cattle manure, corn silage and sugar beet pulp mixtures after thermal pretreatment and kinetic modeling study. **Fuel**, [s.l.], v. 263, p. 116651-116656, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116651>.

SEPLAG. **Plataforma de Desenvolvimento Ceará 2050**. 2021. Secretaria do Planejamento e Gestão. Disponível em: <https://www.seplag.ce.gov.br/planejamento/ceara-2050/apresentacao/>. Acesso em: 23 out. 2021.

SIDDIQUE, Md Nurul Islam; MUNAIM, Mimi Sakinah Abdul; ZULARISAM, A.w.. Feasibility analysis of anaerobic co-digestion of activated manure and petrochemical wastewater in Kuantan (Malaysia). **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 106, p.380-388, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.003>.

SIDDIQUE, Md. Nurul Islam; WAHID, Zularisam Ab.. Achievements and perspectives of anaerobic co-digestion: A review. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 194, p.359-371, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.155>.

SIEGMEIER, Torsten; BLUMENSTEIN, Benjamin; MÖLLER, Detlev. Farm biogas production in organic agriculture: System implications. **Agricultural Systems**, [s.l.], v. 139, p.196-209, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.07.006>.

SILVA, Edson Vicente da; GORAYEB, Adryane; PEREIRA, Luci Cajueiro Carneiro (Org.). **Planejamento Socioambiental em Comunidade Tradicionais no Semiárido Nordeste e na Amazônia Oriental**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2012. 149 p.

SILVA, Paulo Ferreira da; LIMA, José Romualdo de Sousa; ANTONINO, Antonio Celso Dantas; SOUZA, Rodolfo; SOUZA, Eduardo Soares de; SILVA, José Raliuson Inácio; ALVES, Edevaldo Miguel. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal Of Arid Environments**, [s.l.], v. 147, p. 71-82, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003>.

SILVA, Paulo Ferreira da; LIMA, José Romualdo de Sousa; ANTONINO, Antonio Celso Dantas; SOUZA, Rodolfo; SOUZA, Eduardo Soares de; SILVA, José Raliuson Inácio; ALVES, Edevaldo Miguel. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal Of Arid Environments**, [s.l.], v. 147, p. 71-82, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003>.

SLEPETIENE, Alvyra; VOLUNGEVICIUS, Jonas; JURGUTIS, Linas; LIAUDANSKIENE, Inga; AMALEVICIUTE-VOLUNGE, Kristina; SLEPETYS, Jonas; CESEVICIENE, Jurgita. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. **Waste Management**, [s.l.], v. 102, p. 441-451, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.008>.

SOUZA, Marcos Felipe dos Santos; PASSETTI, Ludmila Couto Gomes; GONÇALVES, Telisson Ribeiro; PASSETTI, Rodrigo Augusto Cortez; SANTOS, Gladston Rafael de Arruda. Characterisation of goat product consumers and goat farming systems in the Brazilian Northeast region. **Small Ruminant Research**, [s.l.], v. 179, p. 7-13, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.08.017>.

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Ministério da Integração Nacional. **Delimitação do Semiárido**. 2017. Disponível em:

<http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 28 jul. 2018.

TANURE, Tarik Marques do Prado; MIYAJIMA, Diego Nobuhiko; MAGALHÃES, Aline Souza; DOMINGUES, Edson Paulo; CARVALHO, Terciane Sabadini. The Impacts of Climate Change on Agricultural Production, Land Use and Economy of the Legal Amazon Region Between 2030 and 2049. **Economia**, [s.l.], v. 21, n. 1, p. 73-90, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econ.2020.04.001>.

THOMAS, Paul; SOREN, Nirmala; RUMJIT, Nelson Pynadathu; JAMES, Jake George; SARAVANAKUMAR, M.P.. Biomass resources and potential of anaerobic digestion in Indian scenario. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 77, p. 718-730, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.053>.

TSAPEKOS, Panagiotis; KOUGIAS, Panagiotis G.; KUTHIALA, Sidhant; ANGELIDAKI, Irini. Co-digestion and model simulations of source separated municipal organic waste with cattle manure under batch and continuously stirred tank reactors. **Energy Conversion And Management**, [s.l.], v. 159, p. 1-6, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2018.01.002>.

VERONEZE, Maria Luiza; SCHWANTES, Daniel; GONÇALVES, Affonso Celso; RICHART, Alfredo; MANFRIN, Jéssica; SCHILLER, Andréia da Paz; SCHUBA, Thiago Bana. Production of biogas and biofertilizer using anaerobic reactors with swine manure and glycerin doses. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 213, p. 176-184, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.181>.

VIEIRA, Rita Marcia da Silva Pinto; SESTINI, Marcelo Francisco; TOMASELLA, Javier; MARCHEZINI, Victor; PEREIRA, Guilherme Reis; BARBOSA, Alexandre Augusto; SANTOS, Fabrícia Cristina; RODRIGUEZ, Daniel Andrés; NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do; SANTANA, Marcos Oliveira. Characterizing spatio-temporal patterns of social vulnerability to droughts, degradation and desertification in the Brazilian northeast. **Environmental And Sustainability Indicators**, [s.l.], v. 5, p. 100016, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indic.2019.100016>.

WARD, Alastair J.; HOBBS, Phil J.; HOLLIMAN, Peter J.; JONES, David L.. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 99, n. 17, p. 7928-7940, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044>.

WOILER, S., MATHIAS, W. F. **Projetos: planejamento, elaboração e análise**. Ed. 5. São Paulo: Atlas, 2014.

YANG, Ziyi; WANG, Wen; HE, Yanfeng; ZHANG, Ruihong; LIU, Guangqing. Effect of ammonia on methane production, methanogenesis pathway, microbial community and reactor performance under mesophilic and thermophilic conditions. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 125, p. 915-925, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.032>.

YAO, Yiqing; CHEN, Shulin; KAFLE, Gopi Krishna. Importance of “weak-base” poplar wastes to process performance and methane yield in solid-state anaerobic digestion. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 193, p.423-429, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.025>.

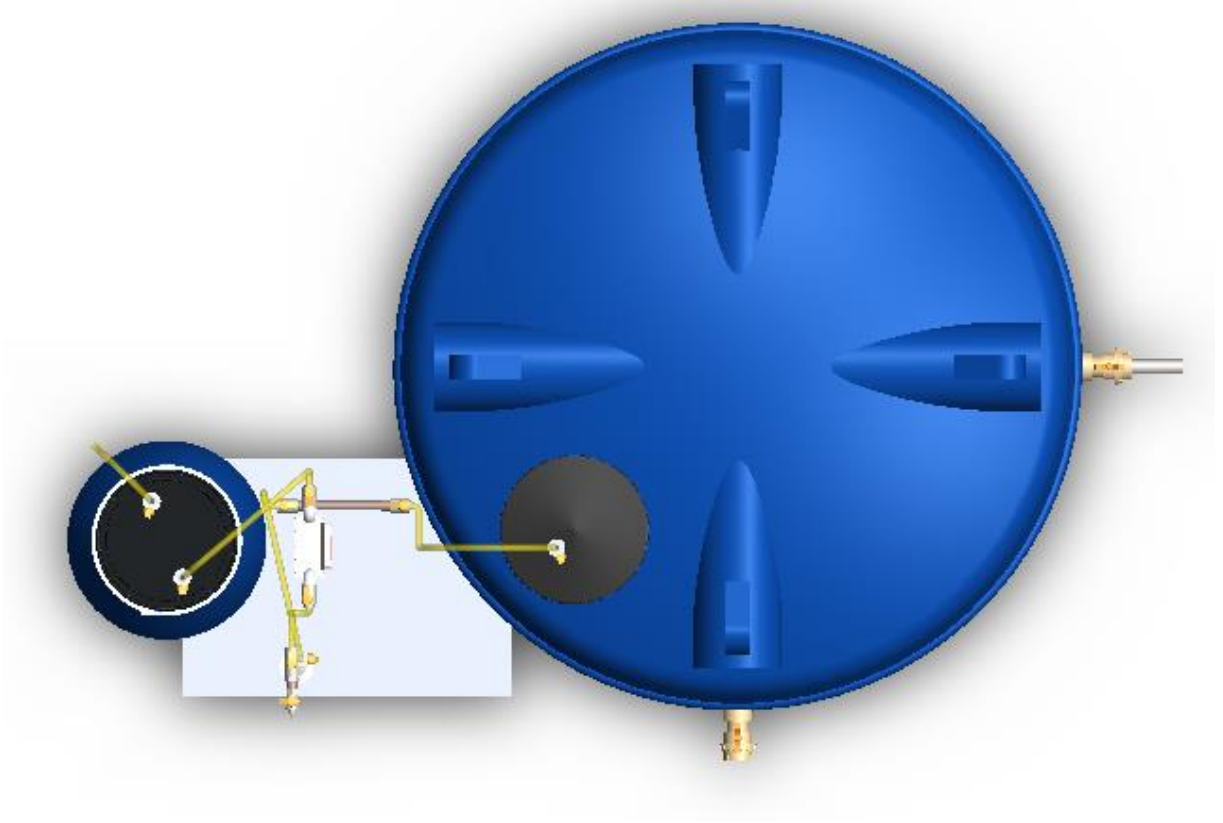
ZHANG, Le; LOH, Kai-chee; ZHANG, Jingxin. Enhanced biogas production from anaerobic digestion of solid organic wastes: current status and prospects. **Bioresource Technology Reports**, [s.l.], v. 5, p. 280-296, fev. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2018.07.005>

**ANEXO A – REPRESENTAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL EM DESENHO
TÉCNICO COMPUTACIONAL**

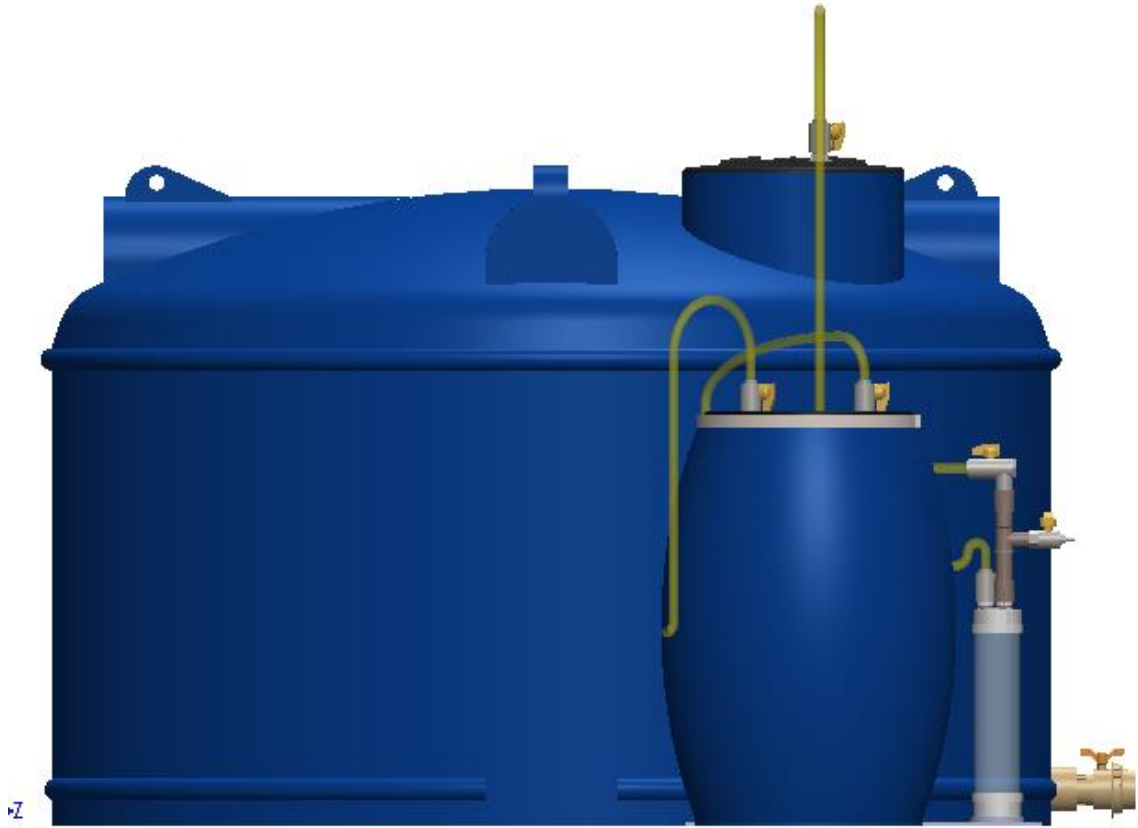
1 – Vista isométrica



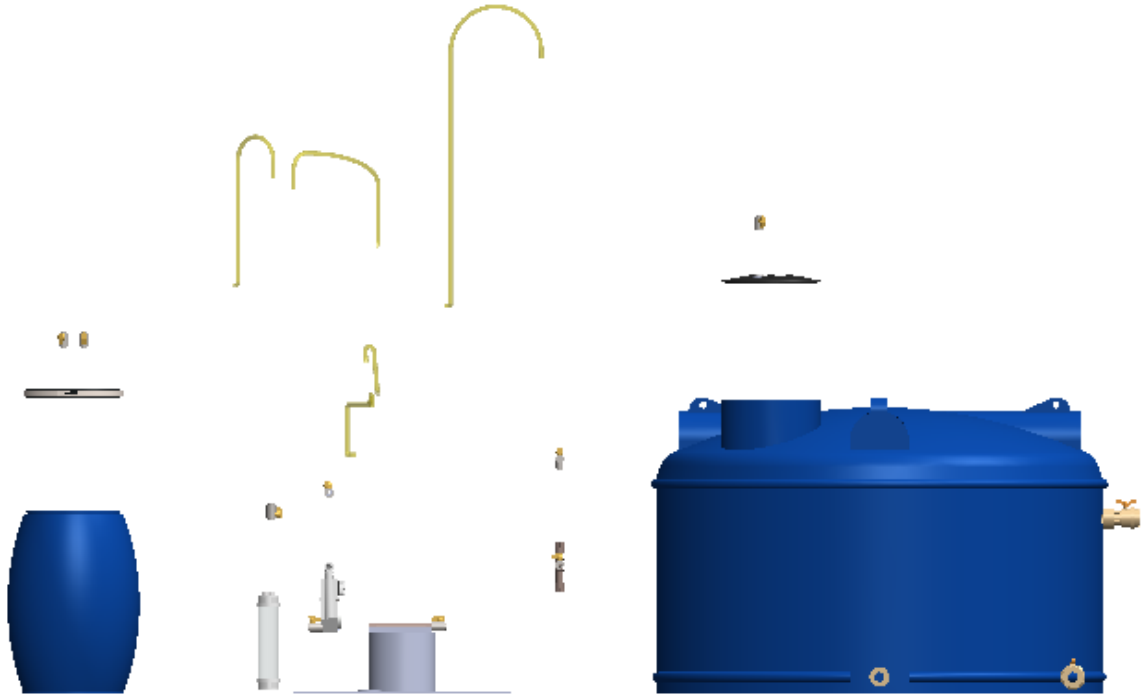
2 – Vista superior



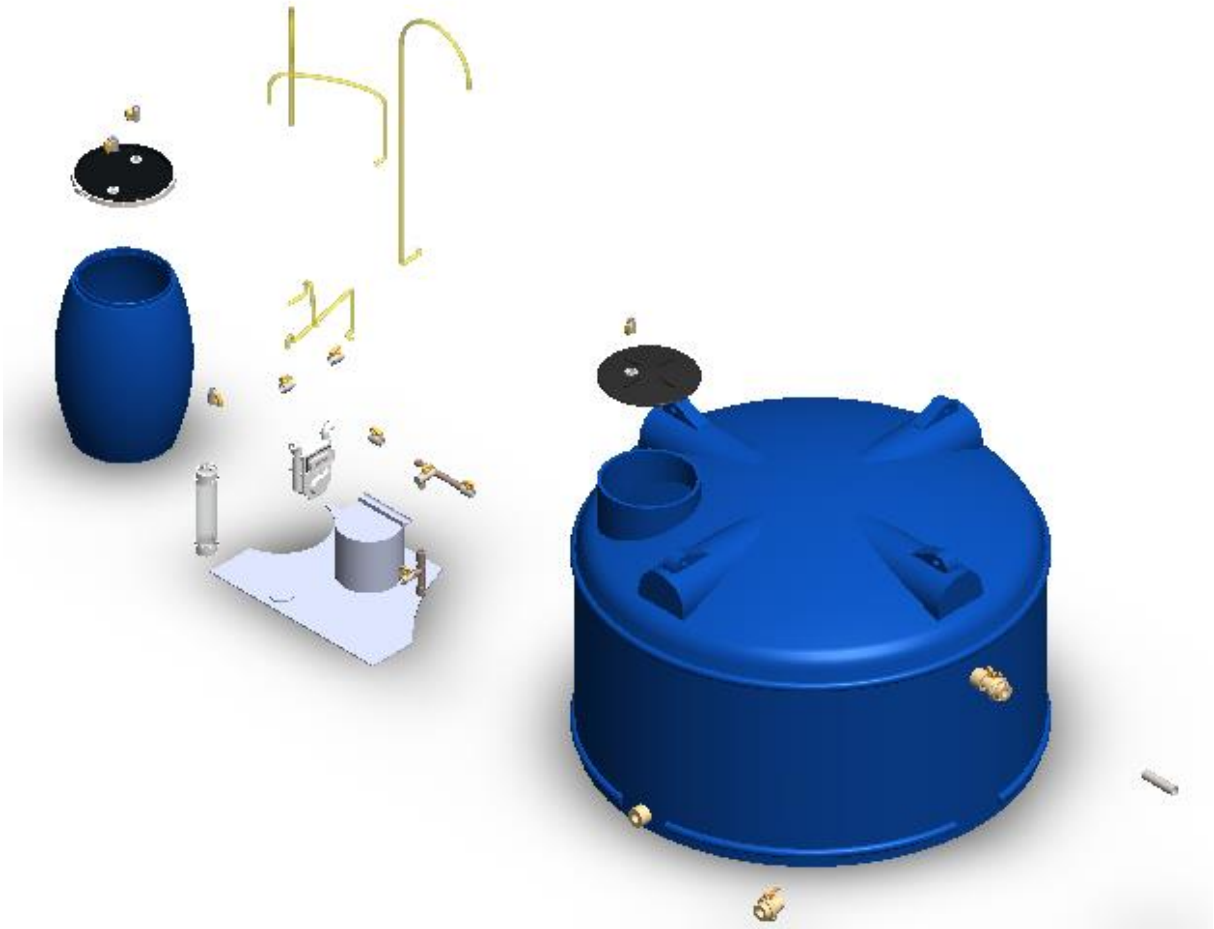
3 – Vista Lateral

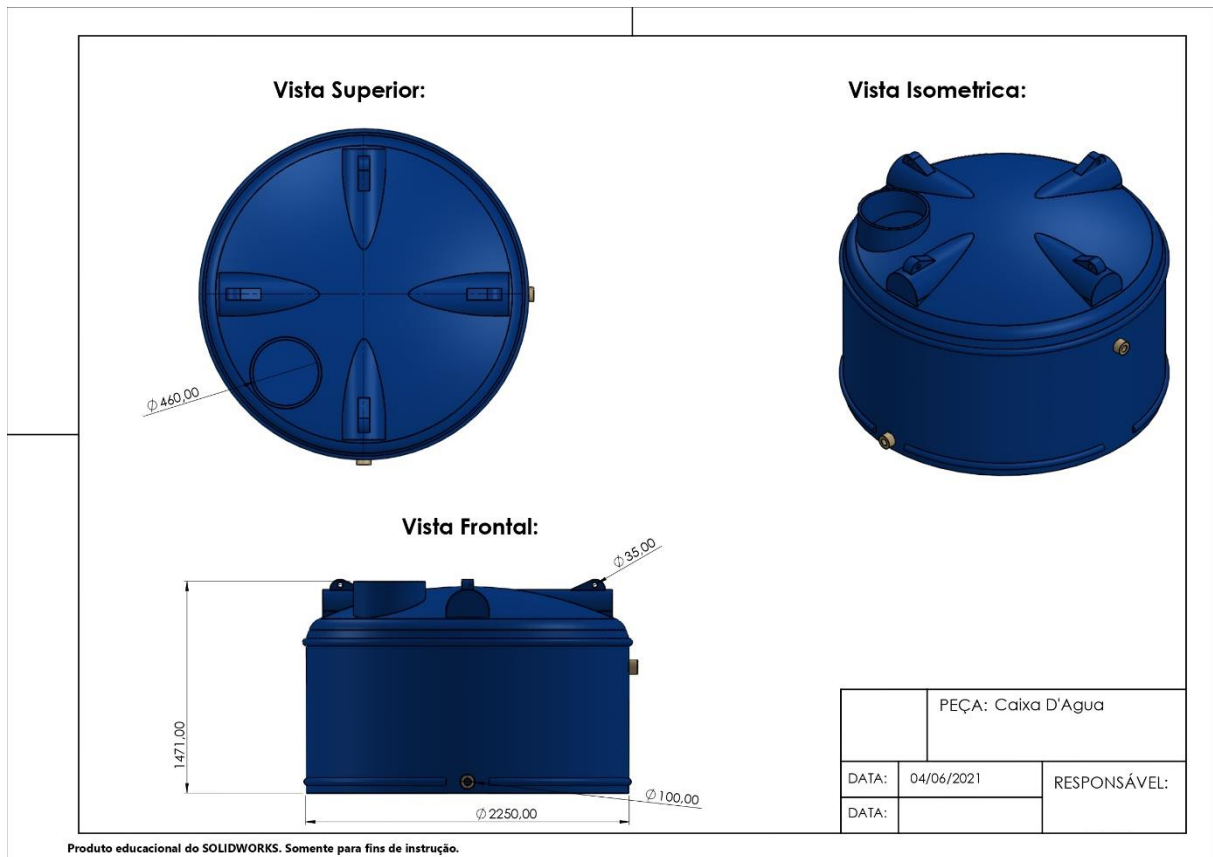


4- Vista explodida frontal

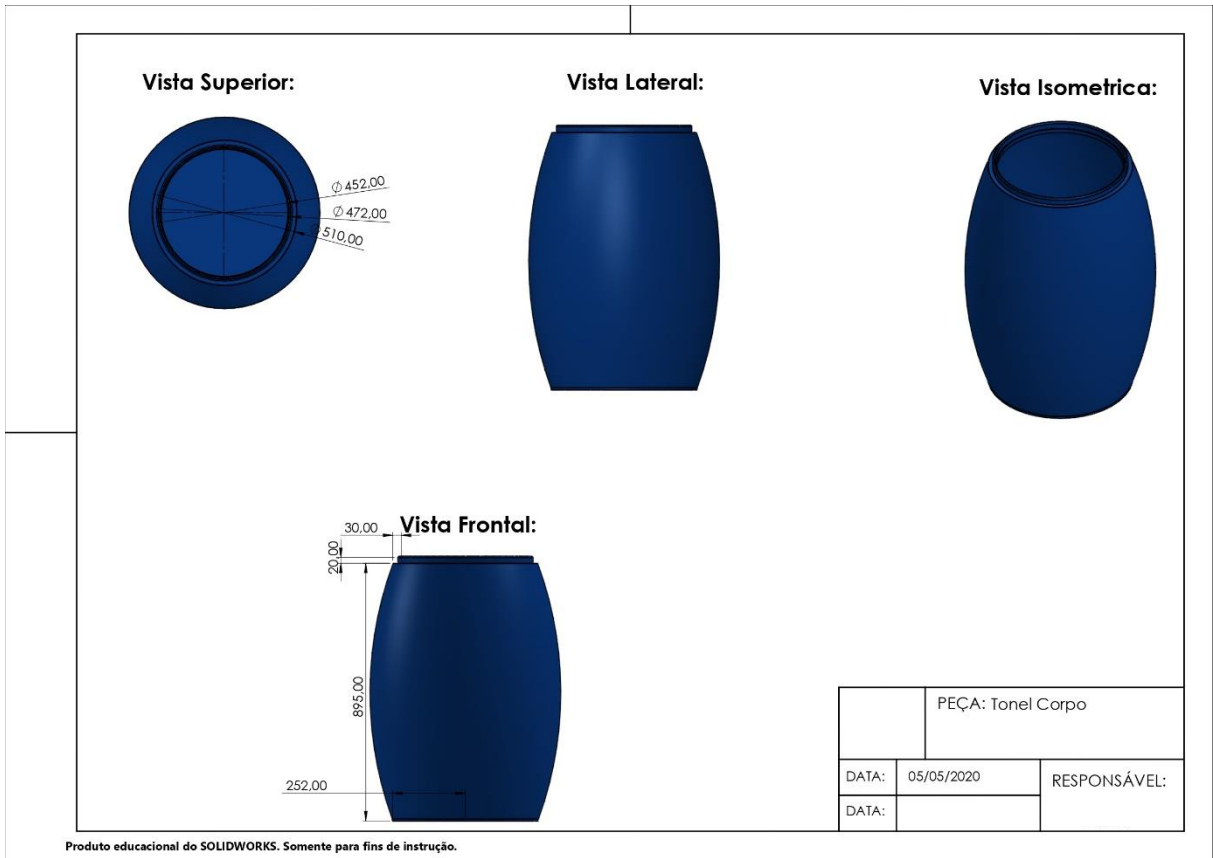


5 – Vista explodida isométrica

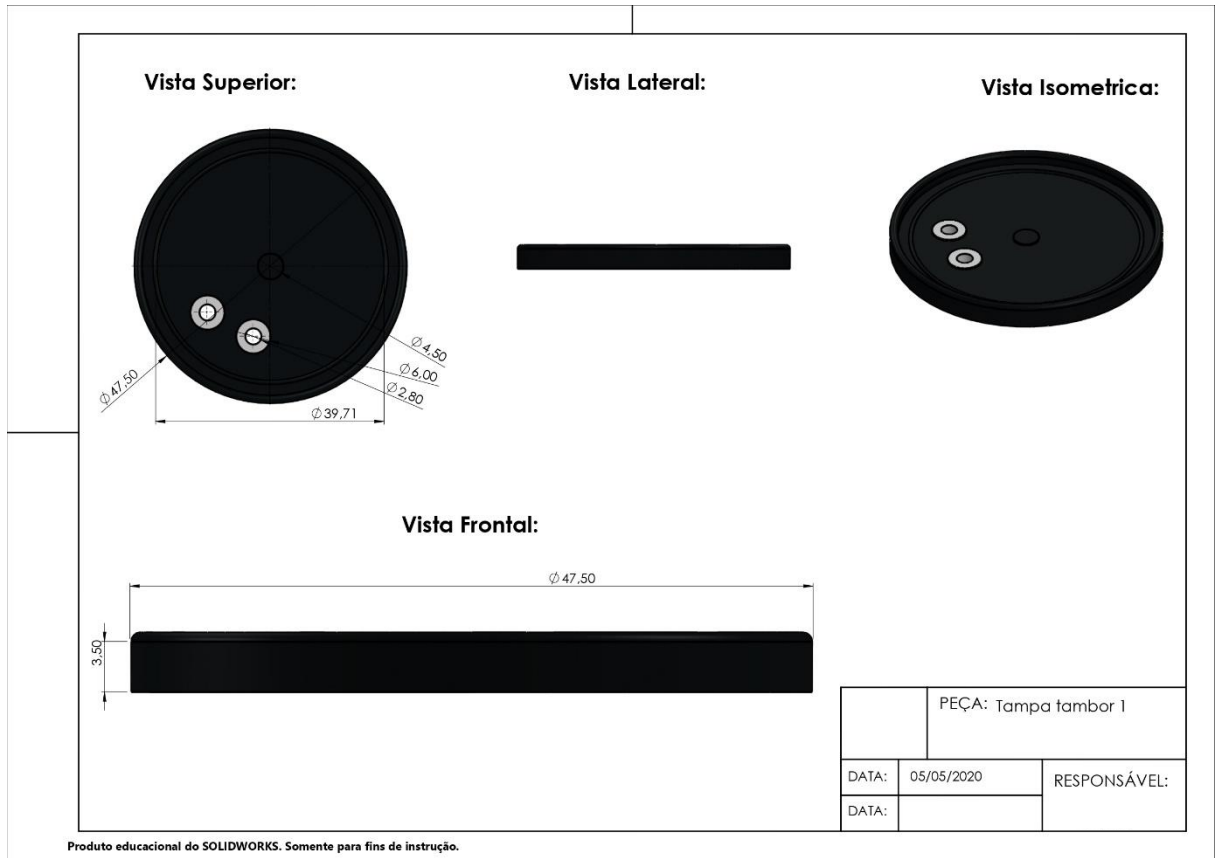


6 – Desenho técnico do tanque de 5 m³

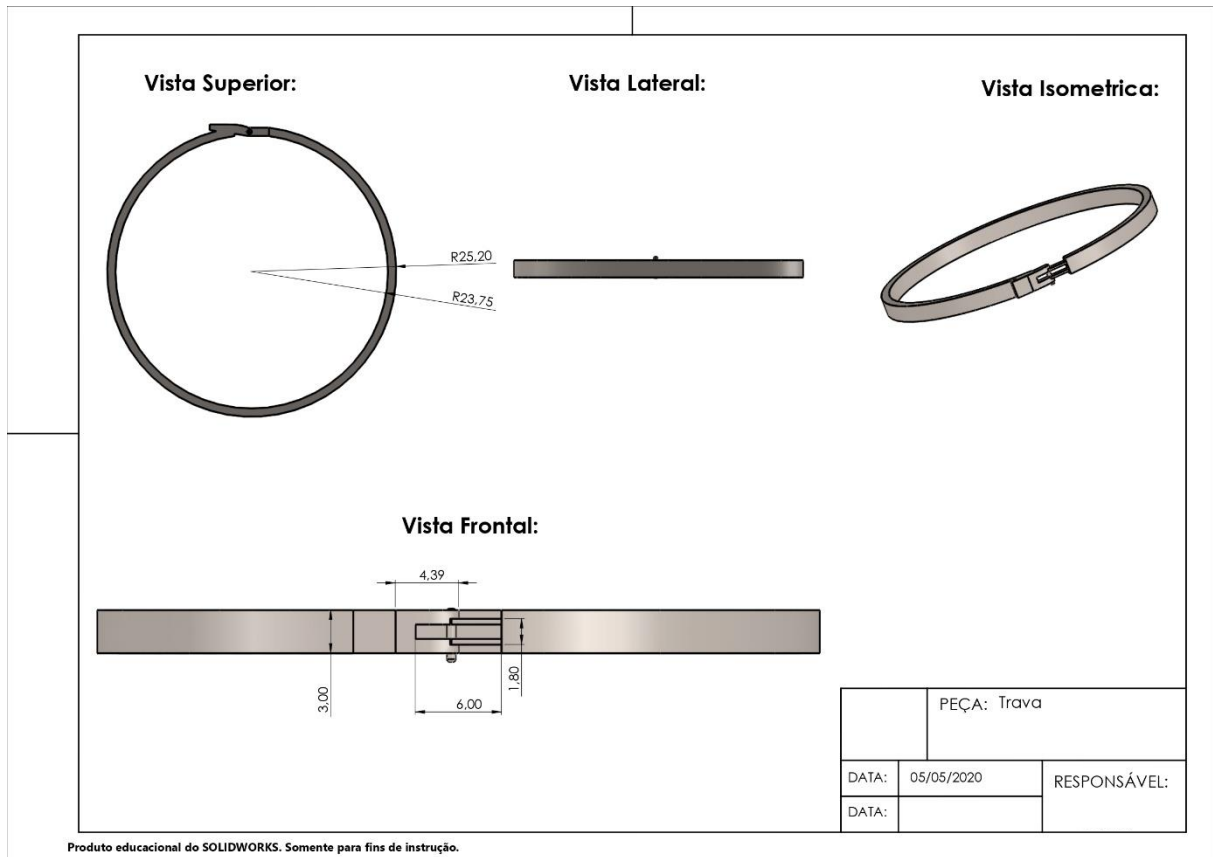
7 - Desenho técnico tanque de 200 L

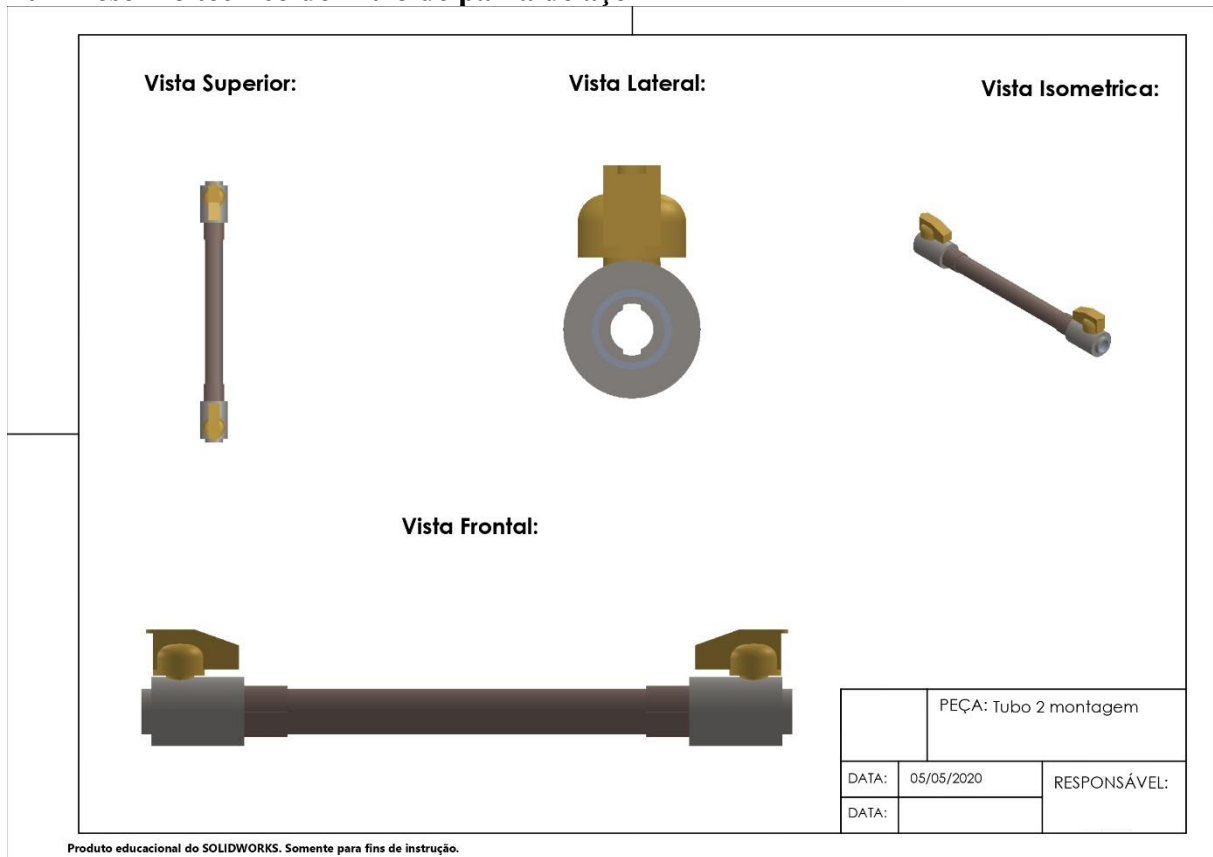


8 – Desenho técnico tampa do tanque de 200 L

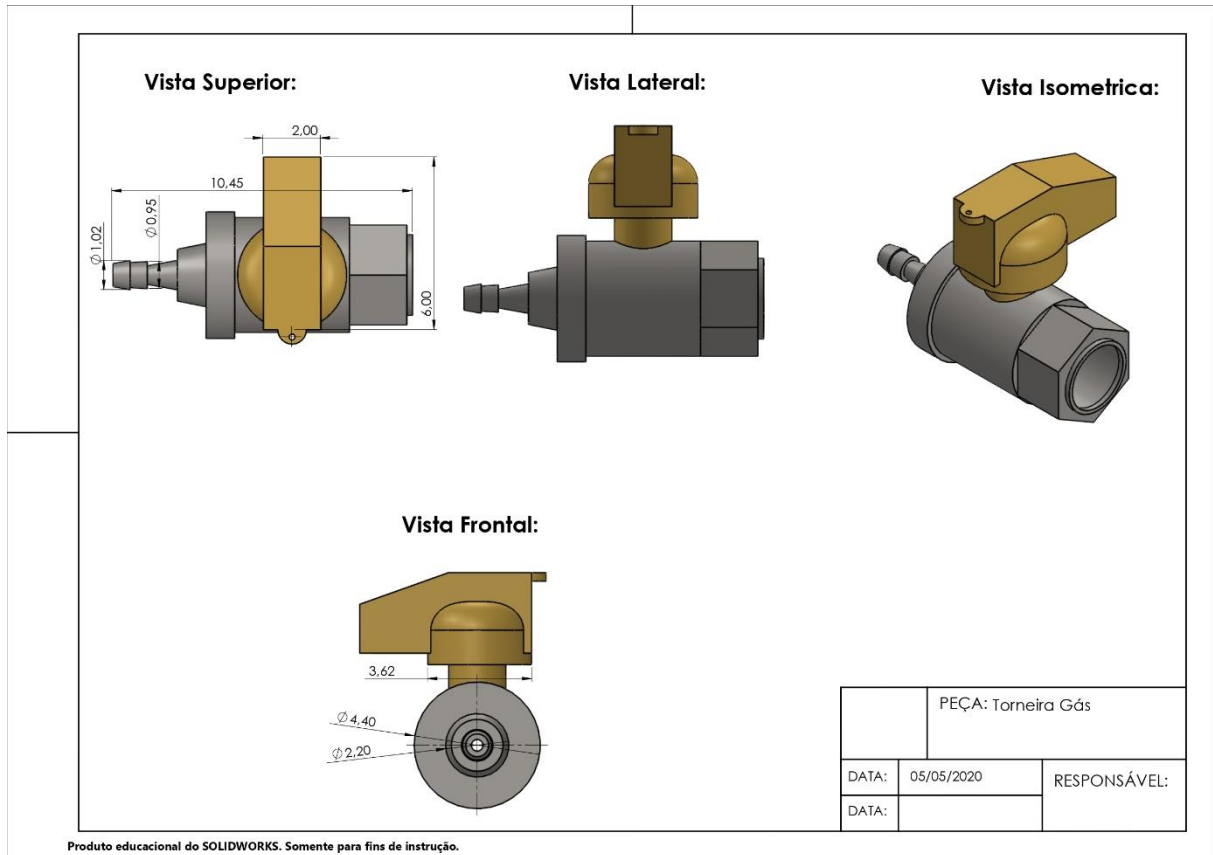


9 – Desenho técnico da garra da tampa do tanque de 200 L



10 – Desenho técnico do filtro de palha de aço

11 – Desenho técnico da torneira para gás



12 – Desenho técnico do filtro de água (Borbulhador)

