

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

VINÍCIUS DA SILVA FERREIRA PEREIRA

**BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS: ESTUDO DE CASO DE
CANTAGALO/RJ**

Macaé

2021

VINÍCIUS DA SILVA FERREIRA PEREIRA

**BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS: ESTUDO DE CASO DE
CANTAGALO/RJ**

**Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação submetida à Universidade
Federal do Rio de Janeiro – Campus
Macaé como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.**

**Orientador(es): Monique Amaro de
Freitas Rocha Nascimento; Elisa Pinto
da Rocha**

Macaé

2021

CIP - Catalogação na Publicação

PP436b Pereira, Vinicius da Silva Ferreira
BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS: ESTUDO DE
CASO DE CANTAGALO/RJ / Vinicius da Silva Ferreira
Pereira. -- Rio de Janeiro, 2021.
63 f.

Orientadora: Monique Amaro de Freitas Rocha
Nascimento.

Coorientadora: Elisa Pinto da Rocha.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus
Macaé Professor Aloísio Teixeira, Bacharel em
Engenharia Civil, 2021.

1. Sustentabilidade. 2. Biogás. 3.
Biodigestores. 4. Engenharia Civil. 5. Propriedades
rurais. I. Nascimento, Monique Amaro de Freitas
Rocha, orient. II. da Rocha, Elisa Pinto, coorient.
III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

VINÍCIUS DA SILVA FERREIRA PEREIRA

**BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS: ESTUDO DE CASO DE
CANTAGALO/RJ**

**Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação submetida à Universidade
Federal do Rio de Janeiro – Campus
Macaé como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.**

Aprovado em Macaé, 18 de outubro de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

Professora Monique Amaro de Freitas Rocha, Doutora (UFRJ)

Professor Elisa Pinto da Rocha, Doutora (UFRJ)

Professora Beatriz Rohden Becker, Mestre (UFRJ)

Professor Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, Doutor (UFRJ)

**Dedico esse trabalho produzido a
todas as pessoas que me incentivaram
a chegar nesse momento de conclusão
de mais um ciclo.**

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Força Criadora, por me dar condições de estar aqui nesse momento.

Agradeço também aos meus pais, que me tornaram a pessoa que sou hoje e sempre me incentivaram e apoiaram, fazendo de tudo para que eu continuasse crescendo.

Aos meus familiares que me ajudaram na realização do sonho de ser engenheiro.

Aos meus amigos que me ajudaram ao longo do curso me ensinando e que viveram comigo tantos momentos para serem lembrados por toda a vida.

Aos meus professores que me passaram um pouco de seu conhecimento e experiência ao longo dos anos de graduação, em especial às minhas orientadoras que me ajudaram desde o início até a conclusão desse projeto.

**Emancipate yourselves from mental
slavery, none but ourselves can free
our minds.**

Bob Marley

Resumo

Vive-se, no momento contemporâneo, o futuro que era considerado fantasioso ou pessimista, mas que já vinha sendo anunciado por estudiosos do meio ambiente, os impactos sofridos em decorrência das ações humanas. A crise energética se soma à crise hídrica e o lixo é uma equação sem solução pelas técnicas tradicionalmente utilizadas, implicando em contaminação do solo, do ar e dos mananciais, propagação de vetores e de doenças, deslizamento e escorregamento, alagamentos, entre outros problemas causados pelas alterações impensadas e irracionais do homem ao meio ambiente, promovendo desequilíbrio, desordem e destruição. Ao mesmo passo em que o homem começa a entender de fato que é indissociável do meio e sofre os danos causados a ele a médio e longo prazo, também se vê diante do risco de não ter mais energia suficiente para suas demandas eternamente crescentes, gerando necessidades em progressão geométrica para recursos naturais que conseguem supri-las em progressão aritmética, e a um altíssimo custo à saúde ambiental. A vida humana como a conhecemos se tornou literalmente insustentável ao planeta, em todos os sentidos. Em nome disso, o estudo traz uma das alternativas de produção de energia limpa, renovável e barata, abordando o biogás produzido a partir da ação de biodigestores sobre os dejetos de determinados animais criados em propriedades rurais. A proposta, abordada em uma revisão geral das partes integrantes do projeto, descritiva e qualitativa aplicada a um relato de caso, considera a produção de biogás para uso como gás de cozinha ou para conversão em energia elétrica para pequenas propriedades rurais, a baixo custo e com produção que se assume suficiente para o consumo da propriedade e venda de possíveis excedentes, para redução de despesas e ganhos que integrem a economia dessas famílias. A partir dos cálculos do projeto foi encontrado um valor de 3,7 m³ para o biodigestor, 3,0 m³ para o gasômetro, com isso irá gerar 90,0 m³ de biogás gerado ao mês, convertendo em GLP será 40,8 kg e de energia será de 129,5 kWh, podendo gerar uma economia de até R\$314,00 mensais.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Biogás. Biodigestores. Propriedades rurais.

Abstract

What we live, in the contemporary moment, is the future which had been considered pessimist, but which had also been announced by specialists on the environment and the impacts suffered from human actions. Energetic crisis is added to the hydric crisis, and trash is an equation without solution by the traditional alternatives, implying in the contamination of the soil, the air and the water, dissemination of vectors and diseases, earth slides, floods, among other problems given by unthoughtful and irrational changes made by men to the environment, causing disorder and destruction. At the same time as men start to understand themselves as inseparable from the environment, and to see that they suffer from the damages caused to the environment in mid and long term, they also see themselves in risk of running out of energy to supply their ever-growing demands, generating needs in geometrical progression that nature can supply in arithmetic progression, and at a very high cost to environmental health. Human life, as we know it, has become literally unsustainable to the planet, in every way. Thus, the herein essay brings one of the alternatives to the production of clean, renewable and low-cost energy, approaching the biogas produced by biodigestors from dejects of animals raised in farms. The project, supported by a qualitative and descriptive bibliographic review applied to a case report, considers the production of biogas for the use as kitchen gas, or for the conversion to electric energy for small farms, at a low cost and with enough production to supply the property consumption the sale of possible exceeds, for the cost of expenses and gains with integrate the economy of such families. From the project calculations, a value of 3.7 m³ for the biodigester was found, 3.0 m³ for the gasometer, which will generate 90.0 m³ of biogas generated per month, converting into LPG will be 40.8 kg and of energy will be 129.5 kWh, which can generate savings of up to R\$314.00 per month.

Keywords: Sustainability. Biogas. Biodigestors. Rural properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Objetivos Agenda 2030 no Brasil	22
Figura 2	Modelo Indiano	26
Figura 3	Modelo Chinês	30
Figura 4	Base da caixa de descarga	39
Figura 5	Modelo inicial para a construção do biodigestor	46
Figura 6	Esquema do buraco principal	50
Figura 7	Base do biodigestor	51
Figura 8	Biodigestor em construção	52
Figura 9	Caixa de carga de alvenaria	53
Figura 10	Níveis de profundidade da caixa de descarga	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estimativa da produção de biogás a partir de diferentes dejetos animais	27
Tabela 2	Resultados preliminares do desempenho de biodigestores de modelos indiano e chinês	30
Tabela 3	Índices de produção de biogás, GLP, e kWh	40
Tabela 4	Materiais necessários para a construção do biodigestor e valores sugeridos (em outubro de 2021)	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Equações para dimensionamento de biodigestores modelo indiano (A)	28
Quadro 2	Equações para dimensionamento de biodigestores modelo indiano (B)	29
Quadro 3	Equações para dimensionamento de biodigestores modelo chinês	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13	
	1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
	1.2	JUSTIFICATIVA	14
	1.3	MOTIVAÇÃO	15
	1.4	OBJETIVOS	16
	1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18	
	2.1	SUSTENTABILIDADE ENQUANTO OBJETIVO	18
	2.2	CRISE ENERGÉTICA	23
	2.3	BIODIGESTORES	25
3	METODOLOGIA	37	
	3.1	CLASSIFICAÇÃO DA METODOLOGIA	37
	3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43	
	4.1	ETAPA I	43
	4.2	ETAPA II	44
	4.3	UTILIZAÇÃO DE GÁS METANO	47
	4.4	LISTA DE MATERIAIS E CUSTOS	47
	4.5	PROJETO FINAL	49
	4.6	VIABILIDADE	55
5	CONCLUSÃO	57	
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58	
	APÊNDICE	62	

1 INTRODUÇÃO

Bioenergia é o nome dado à energia limpa produzida a partir de biomassa, seja ela proveniente de matéria orgânica animal ou vegetal. A produção de bioenergia é uma solução sustentável para a escassez e alto custo de combustíveis, para a geração econômica de energia elétrica ou, ainda, para a conversão em gás de cozinha (TANAKA, 2020).

Dentre as principais fontes de bioenergia tem o carvão vegetal, madeira, produtos agrícolas, bagaço cana de açúcar, vegetais, frutas e os dejetos orgânicos. A matéria contida nesses itens citados anteriormente é utilizada para produção de energia, esses são considerados como as biomassas.

Os biodigestores são capazes de gerar bioenergia a partir de biomassa gerada por dejetos orgânicos, o que atende, ao mesmo tempo, às demandas ambientais, econômicas e energéticas, sendo grandes aliados da sustentabilidade, especialmente nas propriedades rurais, nas quais a criação de animais produz, naturalmente, a matéria prima necessária, gerando a descontaminação do solo, lençóis freáticos e mananciais, e produzindo energia suficiente para que essas propriedades fossem autônomas na produção de energia elétrica de biocombustível ou de gás de cozinha (FERNANDES, 2015).

1.1 Contextualização

De acordo com Ferreira (2015), o padrão de consumo de energia no mundo, da mesma forma do que acontece a nível nacional, vem se elevando exponencialmente nos últimos anos, especialmente como reflexo da industrialização acelerada e massificada da China e da Índia, ocorrida especialmente nas duas últimas décadas, que gerou uma demanda energética maior do que o que se conhecia mundialmente até então, o que resultou em um aumento do uso e do preço do combustível fóssil. Desse contexto, se

depreende uma preocupação com a escassez desse combustível, uma vez que ele não é renovável, com o meio ambiente, sendo um combustível altamente poluente e cuja extração gera impactos ambientais, e com os custos gerados, diante de um aumento progressivo no preço desses combustíveis, sentido por usuários do mundo inteiro.

Dessa forma, um somatório de preocupações energéticas, ambientais e econômicas, unindo interesses individuais, coletivos e globais, fez com que se voltasse as atenções para a produção de energia limpa, especialmente a partir da base biológica para que se reduzisse a emissão de gases de efeito estufa, uma vez que as alterações climáticas causadas por esses gases, anunciadas em estudos e pesquisas e alertada por ambientalistas há décadas, agora começa efetivamente a ser sentida, observada e temida ao redor do mundo (MUYLLE, 2015).

A biomassa, considerada a fonte energética mais remota conhecida pela humanidade, é também a mais abundante, versátil e renovável, sendo ao mesmo tempo limpa e evitando e poupando a emissão de gases de efeito estufa, além de dar uma destinação ideal, por exemplo, aos dejetos orgânicos. Por todos esses fatores, a biomassa é apontada como o substituto preferível aos combustíveis fósseis, dentre as fontes de energia limpas e renováveis (FERREIRA, 2015).

A biomassa composta de rejeitos orgânicos de animais reduz o impacto ambiental da decomposição natural desses dejetos, e representa uma fonte de energia limpa, barata, sustentável e abundante, podendo ser convertida em biogás a partir do uso de um biodigestor, que pode produzir gás de cozinha ou converter esse gás em energia elétrica (TANAKA, 2020).

1.2 Justificativa

Atualmente, os brasileiros vivem em um estado de impossibilidades quanto ao custo da energia elétrica, do gás de cozinha e dos combustíveis fossilizados. Neste mês de setembro de 2021, o gás de cozinha tem custo médio de R\$100,00 (D24AM, 2021.) para reabastecimento de um botijão de gás. A gasolina já ultrapassa os R\$ 6,00 por litro, e a energia elétrica, além de somar sucessivos aumentos, ainda aplica multas de alto

valor para aqueles que consomem acima da taxa permitida, em função da crise hídrica que faz com que o desabastecimento seja uma ameaça constante, gerando falta de energia elétrica constante em alguns municípios, áreas e bairros brasileiros.

Os custos fazem com que muitas famílias de médio e baixo poder aquisitivo, o que se soma à realidade do desemprego, gerado concomitantemente pela crise financeira que o país atravessa e pelo impacto da pandemia, não possam mais arcar com os custos da sobrevivência básica considerando a aquisição de gás de cozinha, o pagamento da conta de energia elétrica e com a compra de combustíveis para veículos de passeio, trabalho e agrícolas. De acordo com pesquisa do IPEA (2020), 31,6% das famílias brasileiras estão com contas em atraso, e 14,1% estão em estado de superendividamento, o que significa que não tem conseguido pagar suas contas essenciais, e nem têm previsão de quando possam realizar esse pagamento, já que se veem destituídas de meios para isso.

A produção econômica, autônoma e sustentável de energia elétrica ou de gás de cozinha com o uso do biodigestor e da biomassa de rejeitos orgânicos em propriedades agrícolas pode representar uma saída proveitosa aos produtores e agricultores, à economia nacional e ao meio ambiente, indo na contramão do consumo energético predatório e saindo na vanguarda do consumo e da produção energética equilibrada, racional e inteligente.

1.3 Motivação

A motivação desse trabalho surgiu com um motivo de trazer mais qualidade de vida ao produtor rural, com um descarte adequado dos rejeitos orgânicos e dessa forma mais qualidade ao meio ambiente, dessa forma contribuindo menos para a poluição global.

A engenharia civil esteve, por décadas, à frente de algumas das ações mais danosas ao meio ambiente, transformando o espaço em um cenário adaptado à ambição e à velocidade de mudanças do processo civilizatório e industrial. Dessa forma, devolver, através de conhecimento técnico e capacidades específicas da área, ao meio

ambiente e à sociedade na forma de sustentabilidade e equilíbrio, pode ser entendido como um dever moral dos profissionais de engenharia civil, um desafio que vai na contramão de seus objetivos e propósitos tradicionais, esboçando os ideais do profissional de engenharia civil do futuro, e uma reconciliação dessa área com o bem-estar integral. A ideia de oferecer alternativas ao invés de destruir, de contribuir ao invés de extinguir, faz com que o engenheiro civil e os estudantes de engenharia civil vislumbrem outras formas de fazer: fazer diferente e fazer melhor, ainda dentro de suas habilidades e conhecimentos.

O estudo projeta a implementação da tecnologia do biodigestor como fonte de alternativa de energia em uma pequena propriedade rural, utilizando materiais e equipamentos acessíveis economicamente a pequenos produtores rurais. A tecnologia da biodigestão anaeróbica se mostra eficiente nos ambientes rurais para o tratamento de dejetos de animais, servindo como filtro biológico e, ao mesmo tempo, como fonte de biogás e de biofertilizantes, sendo estes insumos de alto valor econômico que se, descartados de forma indevida, trazem impactos significativos ao meio ambiente. A proposta sugere uma alternativa economicamente viável para o pequeno produtor rural, proporcionando benefícios e ganhos com a diminuição dos custos de produção.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho consistiu na estimativa energética de um biodigestor construído em Cantagalo/RJ, analisa a viabilidade, eficácia, e capacidade sustentável da construção, com o objetivo de produzir biogás a partir de dejetos orgânicos bovinos, equinos, suínos e aves, gerando com isso redução do impacto ambiental da decomposição *in natura* desses dejetos, além de ser uma fonte de energia limpa.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver o projeto civil do sistema a ser implantado na propriedade rural escolhida;
- Analisar o potencial da propriedade, das instalações e da geração de biogás desses resíduos orgânicos;
- Elaborar uma checklist de custos, materiais e procedimentos para a construção do biodigestor;
- Detalhar as etapas e processos de implantação do sistema implantado na propriedade rural selecionada;
- Analisar os benefícios envolvidos e escolher, com base neles, se a produção seria melhor aproveitada como gás de cozinha ou energia elétrica.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho se desenvolve por meio de uma fundamentação teórica que elucide e contextualize os pontos referentes à escassez de combustíveis fossilizados, importância da energia limpa e renovável, economicidade em energia, sustentabilidade, impacto ambiental, biomassa, biocombustíveis, bioenergia, biogás e biodigestores. Em seguida, apresenta um detalhamento de sua pesquisa na seção dedicada aos materiais e métodos, traçando tanto sua trajetória na revisão bibliográfica que alicerça a fundamentação teórica e discussão, quanto a respeito do caso aplicado. Os processos e resultados do caso aplicado são apresentados subsequentemente, e então a análise de resultados e discussão, sucedida pela conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sustentabilidade enquanto objetivo

A humanidade, ao longo dos anos, se tornou o principal algoz do meio ambiente, causando danos custosos e muitas vezes irreversíveis à natureza, desequilibrando o binômio onde se deve analisar a necessidade de acomodar mais pessoas nas cidades, em prol do progresso conforme é compreendido na sociedade capitalista, e a necessidade de se preservar a natureza como um bem imaterial insubstituível e de valor inestimável, inclusive para a sobrevivência da humanidade.

Contemporaneamente, é possível sentir efeitos ambientais que antes eram somente alertados por especialistas e estudiosos preocupados com o equilíbrio ambiental. As mudanças globais, poluição e diminuição dos mananciais, poluição do ar, extinção de animais, desaparecimento de espécies vegetais nativas, deslizamentos, alagamentos, escassez iminente de recursos naturais, entre outros exemplos de uma realidade alarmante, que acena com a urgência de que se modifique, urgentemente, a relação entre homem e natureza, para que o meio ambiente não seja levado ao colapso absoluto, em menos tempo do que as gerações anteriores poderiam supor, em suas previsões mais pessimistas (SANTOS, BERTULINO, PFEIFER, 2010).

Diante dessa realidade e da urgência de uma mudança radical de hábitos, é necessário repensar as demandas sociais e econômicas sob uma perspectiva de consciência e de engajamento e compromisso com as mudanças que devem ser implementadas, para que se consiga reverter ou, pelo menos, estacionar o quadro de desequilíbrio ambiental contemporâneo. Para isso, é necessário refletir acerca dos hábitos e da mentalidade nutridos até esse ponto da trajetória, para que possam ser repensados, ressignificados, recondicionados e reestruturados em elementos de uma nova relação, mais equilibrada, mais saudável, mais econômica, mais racional, mais inteligente e mais sustentável.

Para que se entenda o conceito de sustentabilidade, é válido entender o que seja seu extremo oposto, porque é a partir dele que nasce a expressão. Foi somente diante da constatação de que o modo como se vive na sociedade contemporânea é insustentável,

pelos resultados passados e presentes e suas consequências em um futuro próximo, que se deduz a respeito da necessidade urgente e absoluta de uma mudança estrutural de hábitos, que vá do insustentável que se tinha, ao sustentável que se precisa alcançar.

Dentro desse raciocínio que represente um rompimento com o modo de relação com o meio ambiente que se tinha no passado, Barbieri (2010) afirma que o compromisso com a sustentabilidade pressupõe mudança efetiva e significativa de hábitos, mentalidade e atuação, de forma a “reduzir os impactos sociais e ambientais adversos” (p. 147).

Freire Dias (2013) ressalta que essa mudança necessária para que exista uma sustentabilidade em uma macro análise, que entende a necessidade de uma sustentabilidade institucionalizada, ainda é uma realidade distante, uma vez que os sustentáculos da economia ainda pressuponham uma exploração predatória do planeta, incluindo o esgotamento de seus limites biofísicos para atender a uma demanda que continuaria crescente depois de esgotados todos os recursos naturais, uma vez que, de acordo com o alerta do autor, para sustentar o mundo nos padrões americanos ou japoneses, seria necessária mais de um planeta Terra.

Para Veiga (2010) só se pode falar em sustentabilidade quando efetivamente comprovados os indicadores de sustentabilidade que, por sua vez, só se atestam na presença simultânea desses três elementos: dimensão ambiental, desempenho econômico e qualidade de vida. Os três precisam estar em uma conjunção de equilíbrio e controle mútuo, no desenvolvimento de medidas que visem esses três alicerces, para que se possa falar em bem-estar econômico, social e ambiental. Para o autor, uma das medidas mais polêmicas para que se garanta um desenvolvimento sustentável é o fim do PIB enquanto parâmetro, sendo substituído por outro indicativo de desenvolvimento que analise a renda domiciliar disponível, uma vez que o conceito do PIB e a mentalidade por trás de sua valorização enquanto medida efetiva de progresso, são radicalmente opostas ao princípio da sustentabilidade.

Com isso, se entende o desafio da sustentabilidade real enquanto paradoxal à manutenção da economia da forma como é gerida até hoje, o que parte dos governos e gestão dos países, mas se perpetua relevantemente nas instâncias corporativas, sociais, comunitárias e individuais.

Dentro desse raciocínio, entende-se que os esforços individuais não podem ser pontuais, ou restritos a uma pequena parcela da população, ou serão absolutamente diluídos diante da exploração predatória das indústrias e da própria gestão ambiental, residencial e urbana. Assim, elucida Veiga (2019), o próprio entendimento do conceito de sustentabilidade, que ainda está em construção, sendo ressignificado ao longo das cinco últimas décadas, se torna comprometido diante da banalização de seu uso, sendo aplicado a medidas que não correspondem, efetivamente, à sustentabilidade, mas são assim classificadas para fins de agregar valor àqueles que desejam se beneficiar dela, já que passa a figurar como um importante atrativo, por exemplo, a investidores e consumidores.

Esse uso da sustentabilidade de forma leviana, como instrumento de autopromoção ou de agregar valor indevido ao negócio, gestão ou ação, é discutido por Boff (2017), que afirma que a sustentabilidade passou a se fixar como etiqueta naquilo que se deseja aumentar o valor, a despeito de haver pouca ou nenhuma preocupação com seu real sentido, configurando uma falsidade ideológica de caráter perverso e socialmente nocivo, já que camufla processos de degradação em progresso sob a égide de uma falsa preocupação, criando uma sensação de tranquilidade e conforto que não corresponde à realidade praticada. Isso demanda uma análise mais apurada do que se afirme como sustentabilidade, a fim de aferir se o marketing feito em cima disso corresponde às ações efetivamente próprias de um negócio, projeto ou gestão sustentável, ou se é apenas uma jogada para gerar valor, em uma ação que o autor caracteriza como “greenwash”.

O que frequentemente ocorre é certa falsidade ecológica ao se usar a palavra sustentabilidade para ocultar problemas de agressão à natureza, de contaminação química dos alimentos e de marketing comercial apenas para vender e lucrar. A maioria daquilo que vem anunciado como sustentável geralmente não o é. Pelo menos em algum estágio do ciclo de vida de um produto, aparece o elemento perturbador das toxinas ou dos resíduos não degradáveis. O que se pratica com mais frequência é o *greenwash*, “pintar de verde” para iludir o consumidor que busca produtos não quimicalizados. Por isso, impõe-se senso crítico e uma compreensão mais apurada para saber o que é sustentabilidade e o que não é (BOFF, 2017, p. 14).

No entanto, de acordo com Corrêa e Vieira (2009), esse tipo de postura perde cada vez mais seu lugar no mercado, uma vez que a preocupação ambiental é uma

crecente, primeiro nos países desenvolvidos, mas já se consolidando nos paradigmas dos países em desenvolvimento. Assim, para os autores, nenhum empreendimento pode prescindir de atender a quatro requisitos básicos, sendo eles a adequação ambiental, a viabilidade econômica, o propósito e observância da justiça social, e a adequação e aceitação cultural.

As questões ambientais, para Yemal, Teixeira e Naas (2011), vêm se fortalecendo, cada vez mais, como parte da demanda social. Por isso, qualquer empresa ou empreendimento que não esteja em sintonia com esse princípio e objetivo, estará fadado ao insucesso e progressivo esquecimento, uma vez que, em um mercado cada vez mais competitivo, não conhecer ou negligenciar as demandas da sociedade, torna-se uma rápida e decisiva sentença de morte enquanto negócio.

A sustentabilidade é uma filosofia que está encorajando o mundo empresarial a procurar melhorias ambientais que potenciem, paralelamente, benefícios econômicos. Concentra-se em oportunidades de negócio e permite às empresas tornarem-se mais responsáveis do ponto de vista ambiental e mais lucrativas. Incentiva a inovação e, por conseguinte, o crescimento e a competitividade (YEMAL; TEIXEIRA; NAAS, 2011, p. 4).

A sustentabilidade precisa deixar de ser um conceito abstrato para integrar a vida das pessoas, os hábitos, as idéias e as práticas. Para que isso aconteça, é essencial que a educação ambiental seja efetivamente um processo de ensino aprendizagem no qual os alunos se sintam sujeitos da construção daquele conhecimento, de forma que os problemas ambientais sejam apresentados a esses alunos com clareza, assim como suas consequências, e esses sejam encorajados e instigados a pensar em soluções sustentáveis para tudo aquilo que veem ao seu redor. A educação das crianças e adolescentes de forma eficaz e efetivamente ambiental é capaz não apenas de mudar o futuro, mas também o presente, já que as crianças costumam ser agentes da mudança e da atualização da mentalidade e dos conhecimentos nas famílias, nas comunidades (ROOS; BECKER, 2012).

D'Ambrosio (2011) afirma que a transdisciplinaridade é um fator de fundamental importância na educação ambiental, já que ela não deve ser compreendida enquanto uma matéria, uma disciplina, e sim, enquanto metodologia para todos os

saberes. Da mesma forma, se pretende que a sustentabilidade não seja o objeto de um setor nas organizações, mas esteja presente em todos os pensamentos e decisões estratégicas destas. Que não sejam alvo da atuação especializada dos profissionais, mas integrem o escopo e a atuação de todos os profissionais, na medida em que interessa a todos e que tem cada indivíduo por responsável.

Esse tipo de pensamento, aplicado a educandos, mas também a profissionais de todas as áreas, gera um questionamento incessante acerca do que pode ser feito, em cada segmento, para assegurar práticas mais sustentáveis? Desde pequenas ações a grandes empreitadas, compõem essa mentalidade de participação ativa nas mudanças, gerando um ciclo de inúmeras e contínuas inovações em sustentabilidade (COLETTE, 2014).

Vale ainda lembrar que o projeto se alinha aos objetivos da Agenda Brasil 2030, da ONU, contemplando essa lista e correspondendo a esses requisitos, se provando sustentável, tanto quanto ao ambiente quanto em relação às pessoas, havendo uma preocupação com os pequenos proprietários rurais frente à crise energética e o aumento exponencial das despesas geradas por ela, além de também prever a geração de renda. De acordo com a figura 9, o projeto contempla, diretamente, os itens de números 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 17.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Estes são os objetivos para os quais as Nações Unidas estão contribuindo a fim de que possamos atingir a Agenda 2030 no Brasil.



Figura 1 - Objetivos Agenda 2030 no Brasil.

Fonte: ONU, 2020

É dentro desse contexto que o presente estudo se situa, de forma que cada acadêmico possa repensar seu campo de atuação pela ótica da sustentabilidade, e que cada profissional possa atuar de forma a reforçar esse paradigma de que as mudanças são possíveis, desde que promovidas por cada um dos membros de uma sociedade.

2.2 Crise Energética

Até o ano de 2030, estima-se que a escassez de água já terá atingido mais de 40% da população do planeta, de acordo com a ONU (2002). Principalmente a partir da Revolução Industrial, aquilo que se conceituou como progresso passou a criar demandas infinitas tendo como matéria prima componentes finitos. Assim, a demanda energética se tornou cada vez maior, na medida indiretamente proporcional à das matérias primas usadas nesse processo de industrialização, que foram se esgotando progressivamente, mesmo diante da incredulidade dos críticos do ambientalismo, que garantiam se tratar de pessimismo o que hoje, é uma assustadora e visível realidade (POMPELLI, 2011).

O processo de geração de energia é considerado um dos grandes marcos de referência na história da humanidade. É tido como limitante, e como forte entrave para o desenvolvimento socioeconômico mundial. Existem inúmeras formas de obtenção de energia, desde a hidroelétrica, que é a mais comum, até a nuclear, passando pela energia gerada por meio dos biocombustíveis (POMPELLI, 2011, p.231).

As principais fontes de energia utilizadas no mundo não são limpas e nem renováveis, gerando impacto direto e imediato ou indireto e mediato ao meio ambiente e gerando um consumo insustentável, uma vez que já se sabe que o uso daquela matéria prima implicará em seu esgotamento, seja para esse uso ou para usos insubstituíveis (BARBOSA; LANGER, 2011).

Altoé (2017) afirma que o governo possui papel fundamental na conscientização acerca de crises energéticas instaladas ou em potencial, assim como nas políticas de estímulo e incentivo de economia e eficiência energética por parte da população e das organizações, ao redor de todo o mundo. No entanto, no Brasil, essas políticas ainda são incipientes, o que justifica, em parte, a alienação e o desinteresse da maior parte da

população, que tem como maior preocupação o preço da energia elétrica. Isso se evidencia ainda mais pelo grande número de “gatos”, ligações clandestinas, e do alto consumo e desperdício de energia por aqueles que praticam essa conduta ilícita.

Experiências têm demonstrado que é imprescindível que o governo formule um planejamento energético estratégico, que contemple medidas de incentivo ao uso racional de energia, tanto na gestão do lado da oferta quanto na do lado da demanda, para reduzir o risco de uma crise energética no país, como já ocorrido no passado recente (ALTOÉ, 2017, p.34).

A situação no Brasil ainda se agrava uma vez que a principal fonte de energia no país são as usinas hidrelétricas, que causam grande impactos ambientais e de gerar a crise hídrica, dando fim a um recurso insubstituível como a água, em um país que concentra mais de 12% de toda a água doce do planeta. Dessa forma, a busca por energias limpas e renováveis alternativas se torna uma urgência cada vez maior, tamanho impacto que essa forma insustentável e irracional de impacto vem gerando ao meio ambiente e à humanidade (LIMA; CARVALHO, 2018).

Gregório e Martins (2011) afirmam que existe uma relação intrínseca de interdependência entre energia e água, o que representa um duplo problema com o aumento da demanda de uma população cada vez maior com uma industrialização e avanços tecnológicos cada vez mais presentes, gerando uma crise energética, escassez de água e destruição ambiental, sendo necessário substituir esse recurso por outra fonte de energia mais sustentável, ao preço de que a humanidade não possa mais desfrutar da energia elétrica e nem da água.

Dentre essas alternativas possíveis, destaca-se uma que promove benefícios agregados, gerando eficiência energética e uma adequada gestão de dejetos a custos relativamente baixos e através de processos consideravelmente simples: o biogás gerado por dejetos de animais criados em ambiente rural, como galinhas, bovinos, equinos, suínos e caprinos. Essa alternativa vem se mostrando cada vez mais economicamente viável, além de sustentável (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

O uso de biodigestores para geração de biogás a partir de dejetos é, para Barbosa e Langer (2011), uma dupla solução: para a problemática dos dejetos de animais criados em meio rural e a crise elétrica e hídrica. Para os autores:

A utilização da biomassa e o aproveitamento dos resíduos rurais, efluentes industriais e urbanos como fontes renováveis e sustentáveis de energia. Uma dessas tecnologias é a biodigestão, que pode gerar tanto benefícios ambientais pela eliminação de resíduos dispostos de modo irregular, diminuindo a contaminação da água, do solo, e do ar, quanto sociais evitando contato humano aos resíduos e à proliferação de pragas e outras doenças correlacionadas à falta de saneamento básico, além dos econômicos que podem ser percebidos por meio da geração de energia e uso de biofertilizantes de grande importância para as pastagens e adubação em geral (BARBOSA; LANGER, 2011, p.88).

2.3 Biodigestores

Os biodigestores são reatores fechados, vedado do contato com o ar atmosférico, para propiciar o ambiente ideal anaeróbico de decomposição da biomassa, com o objetivo de produção do biogás e conseqüentemente geração de resíduo denominado biofertilizantes (PNUD, 2010).

Tal aparelho, contudo, não produz o biogás, uma vez que sua função é fornecer as condições propícias para que um grupo especial de bactérias, as metanogênicas, degrade o material orgânico, com a conseqüente liberação do gás metano (GASPAR, 2003).

O uso de biodigestores permite a redução da emissão de gases de efeito estufa para atmosfera, sendo apontado como um dos mecanismos de desenvolvimento limpo - MDL, estabelecido pelo Protocolo de Kyoto, assinado em dezembro de 1997, no Japão, por diversos países membros da Organização das Nações Unidas - ONU (SILVA, 2009).

A escolha do biodigestor ideal depende das condições locais, o tipo de biomassa utilizada e da relação custo versus benefício apresentado, porém todos eles terão os mesmos objetivos. Cada biodigestor tem com suas vantagens e desvantagens e características próprias de funcionamento.

Devido aos diversos modelos de biodigestores existentes, trataremos exclusivamente de biodigestores utilizados em pequenas propriedades rurais.

2.3.1 Modelos de biodigestores

O biodigestor modelo indiano, conforme figura 1, embora tenha maior custo, é mais resistente à pressão, demanda mão de obra qualificada na instalação e pressupõe uma maior complexidade. A principal vantagem dele é ter um maior controle da temperatura, o que torna a fermentação mais segura e eficaz, sendo uma grande condicionante de seu resultado. (FRANÇA JR., 2008).

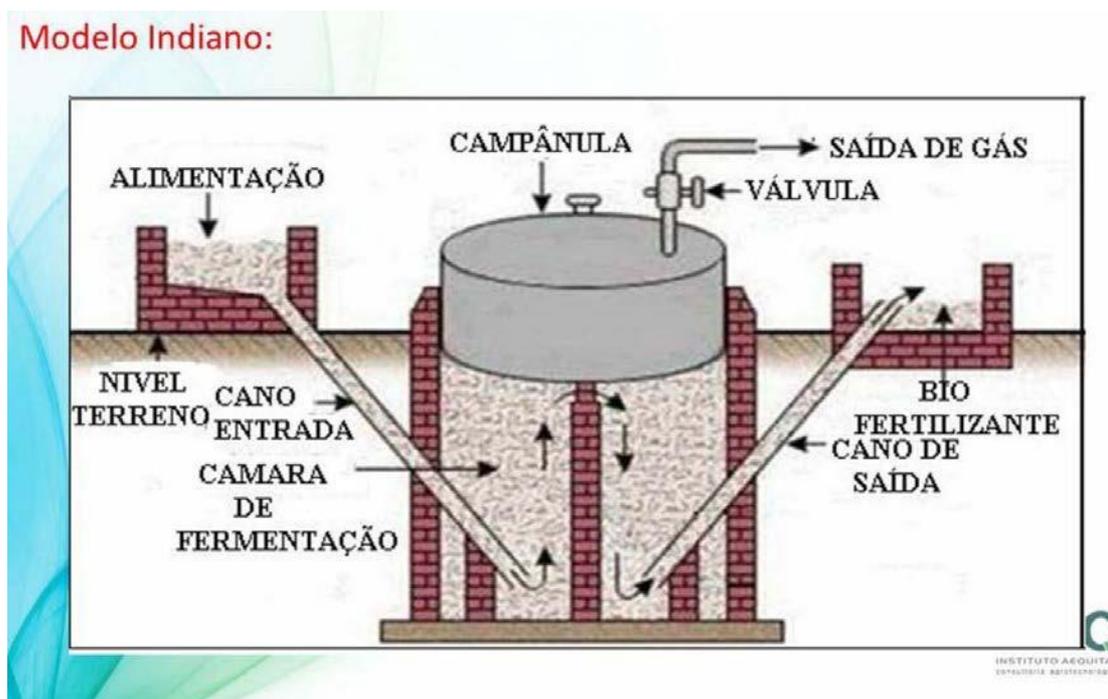


Figura 2 - Biodigestor modelo Indiano.

Fonte: Fonseca, 2009.

De acordo com Lucas Junior & Souza (2009), os principais componentes de um biodigestor modelo indiano são: caixa de carga (local de diluição dos dejetos); tubo de carga (condutor dos dejetos diluídos da caixa de carga para o interior do biodigestor); câmara de biodigestão cilíndrica (local onde ocorre a fermentação anaeróbica com

produção de biogás); gasômetro (local para armazenar o biogás produzido formado por campânula que se movimenta para cima e para baixo); tubo-guia (guia o gasômetro quando este se movimenta para cima e para baixo); tubo de descarga (condutor para saída do material fermentado sólido e líquido); caixa ou canaleta de descarga (local de recebimento do material fermentado sólido e líquido); saída de biogás (dispositivo que permite a saída do biogás produzido para ser encaminhado para os pontos de consumo).

Esse modelo de biodigestor tem uma grande capacidade de produção de biogás comparado aos demais modelos, porém, sua produção irá variar de acordo com a matéria prima utilizada. Na literatura encontra-se estimativas do potencial de produção do biogás a partir dos dejetos mais comuns no meio rural Brasileiro como pode ser visualizado na tabela a seguir.

Tabela 1: Estimativa da produção do biogás a partir de diferentes dejetos animais.

Espécie	m³ de biogás / 100 kg de esterco
Caprino / Ovino	4,0 – 6,1
Bovinos de leite	4,0 -4,9
Bovinos de corte	4,0
Suínos	7,5 – 8,9
Frango de corte	9,0
Poedeiras	10,0
Codornas	4,9

Fonte: OLIVER ET AL (2008).

As equações do Quadro 1 servem para dimensionar um biodigestor de modelo Indiano.

Quadro 1 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo

indiano (A)

$V = K \times B$	V - Volume útil do biodigestor (m^3) K - Fator de rendimento da matéria prima B - volume de biogás necessário por dia (m^3)
$V_b = \frac{\pi \times D_i^2 \times H}{4} \geq 1,1 \times V$	V_b - Volume bruto do biodigestor (m^3) D_i - Diâmetro interno do biodigestor (m) H - Altura do nível do substrato (m)
$0,6 \leq \frac{D_i}{H} \leq 1,0$	Relação para melhor rendimento do biodigestor
$D_g = D_i + 0,10$	D_g - Diâmetro do gasômetro (m)
$V_g = V_1 + V_2$	V_g - Volume do gasômetro (m^3)
$V_1 = \frac{\pi \times D_g^2 \times h_1}{4}$	V_1 - Volume entre a tampa do gasômetro e o nível da mistura do biodigestor (m^3) h_1 - Altura ociosa, valor igual ou superior a 0,15 m
$V_2 = \frac{\pi \times D_g^2 \times h_2}{4}$	V_2 - Volume útil do gasômetro (m^3) h_2 - Altura útil (m)
$h = H - h_2$	h - Altura da parede divisória (m)

Fonte: PORTES, 2005.

As equações do Quadro 2 servem para dimensionar um biodigestor de modelo Indiano.

Quadro 2 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo indiano (B)

$h \geq \frac{2 \times H}{3}$	Relação entre altura do nível do substrato e a altura da parede divisória
$E = \frac{p \times r}{\sigma}$	E – Espessura da parede do gasômetro (cm) p – pressão máxima do gás (kgf/cm ²) r – raio do gasômetro (cm) σ – tensão de tração admissível do material da parede do gasômetro (kgf/cm ²)
$P_g = \frac{\pi \times D_g^2 \times p}{4}$	P_g – Massa do gasômetro necessária para manter a pressão, se a massa real (após a construção) for diferente de P_g é necessária adição de um lastro (kgf)
$V_p = h \times D_i \times esp$	V_p – Volume da parede divisória (m ³) esp – espessura da parede (m)
$D_s = D_g + 0,10$	D_s – Diâmetro interno da parede superior (m)
$v_e = \frac{V}{n}$	v_e – Volume útil da caixa de entrada (m ³) n – período de retenção (número de dias)
$D_e = D_i + 2 \times esp$	D_e – Diâmetro externo (m)
$D_b = D_e + 0,20$	D_b Diâmetro da base (m)
$e = 0,30 \text{ m}$	e – Altura do posicionamento dos tubos de entrada e saída (m)
$a = 0,50 \text{ m}$	a - Altura do fundo caixa de entrada (m)
tubos de carga e descarga	Os tubos devem ser retos com inclinação de 30° em relação à parede. Não se recomenda diâmetros menores que 100 mm.

Fonte: PORTES, 2005

No modelo chinês, conforme figura 2, em contrapartida, parte do biogás produzido em seu interior, é liberado na caixa de saída, ou seja, parte desse biogás é lançado para a atmosfera, seu uso é mais indicado em instalações de pequeno porte. Sua maior vulnerabilidade é a pouca resistência à pressão e o baixo controle sobre oscilações térmicas, enquanto as vantagens são o baixo custo, fácil transporte e construção. (PEREIRA, 1999).

Modelo Chinês:

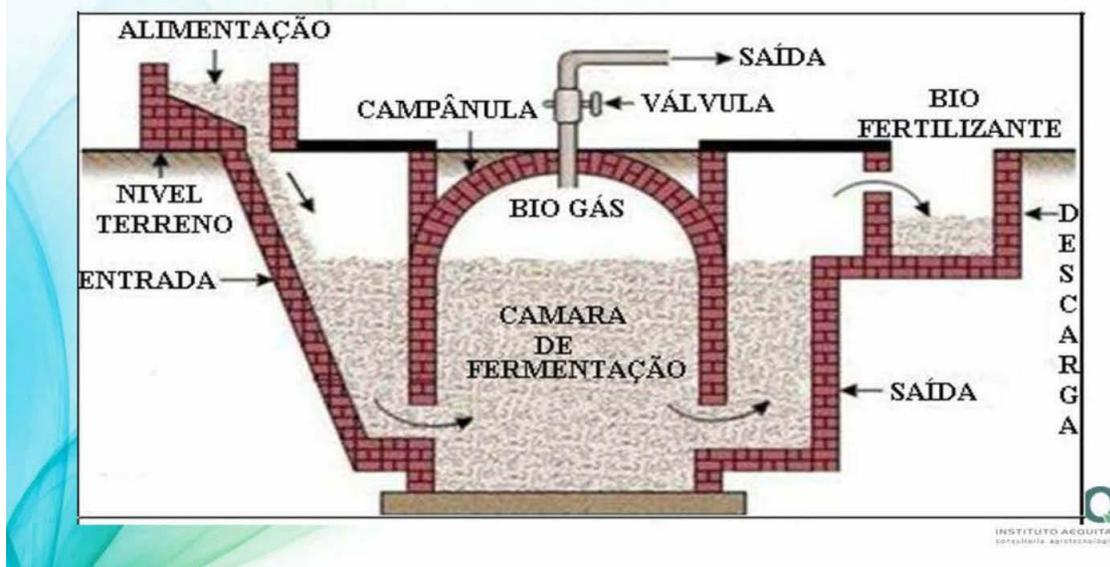


Figura 3 - Biodigestor modelo Chinês.

Fonte: Deganutti, et al., 2002

Em uma comparação entre biodigestor de modelo Indiano e o modelo Chinês, tabela 2, foi observado a redução de sólidos, a produção média de gás e a produção média de substrato, com essa análise realizada, poderá ser decidido qual será a melhor escolha para o projeto selecionado.

Tabela 2: Resultados preliminares do desempenho de biodigestores modelos Indiano e chinês, com capacidade de 5,5 m³ de biomassa, operados com esterco bovino

	Biodigestor	
	Chinês	Indiano
Redução de sólidos (%)	37	38
Produção Média de gás (m ³ / dia)	2,7	3
Produção média de substrato (kg / m ³)	489	538

Fonte: Lucas Junior, 1987.

As equações do Quadro 3 servem para dimensionar um biodigestor de modelo Chinês.

Quadro 3 - Equações para dimensionamento de biodigestores modelo chinês

$V = K \times B$	V - Volume útil do biodigestor (m^3) K - Fator de rendimento da matéria prima B - volume de biogás necessário por dia (m^3)
$\frac{V_f}{V} = \frac{1}{7}$	V_f - Volume da calota do fundo (m^3)
$V_c = V - V_f$	V_c - Volume do corpo cilíndrico (m^3)
$V_c = \frac{\pi \times D_c^2 \times H_c}{4}$	D_c - Diâmetro do corpo cilíndrico (m) H_c - Altura do corpo cilíndrico (m)
$0,5 \leq \frac{H_c}{D_c} \leq 06$	H_c e D_c devem satisfazer a relação, caso contrário os mesmos deve ser corrigidos e para isso devem ser calculados h_f , V_f , e R_f conforme as equações seguintes:
$\frac{h_f}{D_c} = \frac{1}{8}$	h_f - altura da calota do fundo (m)
$V_f = \frac{\pi \times h_f}{6} \times \left(\frac{3 \times D_c^2}{4} + h_f^2 \right)$	Com o valor de V_f corrigido, calcula-se novamente V , V_c e H_c e verifica-se a relação de D_c e H_c .
$R_f = \frac{\frac{D_c^2}{4} + h_f^2}{2 \times h_f}$	R_f - Raio da calota do fundo (m)
$\frac{h_g}{D_c} = \frac{1}{4}$	h_g - Altura da calota do gasômetro (m)
$V_g = \frac{\pi \times h_g}{6} + \left(\frac{3 \times D_c^2}{4} + h_g^2 \right)$	V_g - Volume da calota do gasômetro (m)
$R_g = \frac{\frac{D_c^2}{4} + h_g^2}{2 \times h_g}$	R_g - Raio da calota do gasômetro (m)
$h_s = h_g + af + 0,20$	h_s - Altura da caixa de saída (m) af - Afundamento da cúpula no solo (0,25 m)
$D_s^2 = \frac{D_c^2 \times H_c}{3 \times (H_s - 0,10)}$	D_s - Diâmetro da caixa de saída (m)
$V_e = \frac{V}{n}$	V_e - Volume de reabastecimento diário (m^3) n - período de retenção (número de dias)
$V_e = \frac{\pi \times D_{ce}^2 \times (h_e - 0,10)}{4}$	D_{ce} - Diâmetro da caixa de entrada (m) h_e - altura da caixa de entrada (m)
$P_{max} = \frac{H_c}{3} + (h_s - 0,1)$	P_{max} - Pressão máxima do biogás (kgf/cm ²)
$V_b = \left(\frac{\pi \times D_c^2}{4} \times \frac{H_c}{3} \right) + V_g + \left(\frac{\pi \times 0,6^2 \times (a + 0,20)}{4} \right)$	V_b - Volume de biogás armazenado na pressão máxima (m^3)

Fonte: PORTES, 2005

2.3.2 Critérios para escolha do modelo de biodigestor

Existem vários modelos e tipos de biodigestores, que devem ser escolhidos de acordo com a adequação do modelo ao espaço, finalidade, volume, uso e orçamento de que se dispõe. Uma análise cautelosa e criteriosa do projeto de criação do biodigestor permite que se crie instalações de menor custo, inclusive de manutenção, e se tenha um retorno mais rápido do investimento realizado (CALZA, 2015)

Os biodigestores, como aponta Alves (2014), são mais aplicáveis na área rural, por haver ali uma maior disponibilidade de matéria orgânica oriunda dos dejetos dos animais criados nessas propriedades, uma vez que o processo de geração de biogás pelo biodigestor compreende, justamente, uma fermentação provocada pelas bactérias que digerem a matéria orgânica em condições anaeróbicas promovidas pela estrutura do biodigestor.

Silva (2020), a respeito dos biodigestores, afirma que:

Uma das formas de tratamento em função dos aspectos sanitários e também na geração de energia renovável é a utilização de biodigestores. O biodigestor é um equipamento utilizado para a produção de biogás e biofertilizante, através de dejetos de animais ou restos de alimentos, esse processo é feito a partir da decomposição da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbias (SILVA, 2020, p.43).

Ainda de acordo com Alves (2014), o objetivo pode ser o um dos maiores determinantes na escolha do modelo de biodigestor, sendo que uma maior produção de biofertilizante direciona para a escolha do modelo chinês, enquanto a prioridade do biogás leva a escolher o modelo indiano.

No Biodigestor, o aproveitamento de restos de natureza orgânica é feito de maneira a dar melhor destino a estes materiais, não só para a obtenção de gás de forma bastante econômica como também para a produção de adubo orgânico, o biofertilizante, de real valor para a fertilização do solo. Pode-se usar como matéria-prima para a fermentação anaeróbica, dejetos humanos, esterco bovino, suíno, equino, caprino, de aves, esgoto doméstico, vinhoto, plantas herbáceas, rejeitos agrícolas e capim em geral (ALVES, 2014, p.2).

Uma vez que o mecanismo dos biodigestores consista em acelerar o processo de decomposição do substrato nele utilizado, através de bactérias anaeróbicas, Araújo (2018) afirma que:

O biodigestor anaeróbio consiste em um equipamento fechado, construído de alvenaria, concreto, ou outros materiais, que deve funcionar em lugares relativamente quentes (15 °C e 45 °C) e sem a presença de oxigênio, não devendo haver de forma alguma a entrada de ar. A matéria orgânica utilizada neste equipamento pode ser proveniente da produção vegetal, humana ou animal, no caso deste projeto serão utilizados resíduos da produção animal, ou seja, os dejetos dos animais que são criados no local. Esses resíduos devem ser coletados e inseridos no equipamento diariamente, e misturados com água, para que ocorra a conversão em uma mistura de gases, chamada biogás. Este é composto principalmente por gás metano e dióxido de carbono e em menor quantidade, gás sulfídrico e nitrogênio (ARAÚJO, 2018, p.2).

Os biodigestores em PEAD são mais econômicos em virtude do baixo custo dos materiais empregados em comparação com outros modelos. Também apresentam maior facilidade e demandam menor expertise para seu transporte e instalação. No entanto, são menos rígidos, o que não permite a instalação de sistemas mecânicos, sejam eles de agitação ou misturadores. Também apresentam estrutura menos adequada à construção de dispositivos internos, e menos resistentes à pressão, além de permitirem menos controle sobre sua temperatura interna, o que pode influenciar significativamente a sua eficácia, já que a temperatura afeta diretamente a biodigestão. Costuma-se traçar um paralelo comparativo entre esse revestimento e os biodigestores em chapas de aço inox, mais resistentes, mais adaptáveis a instalações de dispositivos, submissão a pressão e controle de temperatura, ou seja, suprimindo todas as lacunas do outro modelo. No entanto, representam maior custo e maior complexidade na instalação e manutenção. São ideais quando se objetiva obter o máximo volume de metano possível (SOUZA; BORBA; SCHAEFFER, 2013).

Pérez (2010) pontua que os principais modelos sejam, o indiano e o chinês, devendo as realidades serem postas diante da escolha desses dois, uma vez que os demais modelos disponíveis nada são senão variações destes, mais baratas mas de baixa durabilidade. Dessa forma, compara os dois modelos da seguinte maneira:

O modelo chinês é mais simples e econômico de se construir que o indiano, já que o foco na China é a produção de adubo para uso na agricultura. Entretanto, na Índia, a produção de biogás é o fator chave devido a deficiências energéticas históricas, e por isso, o modelo indiano tradicional é mais sofisticado. Entre seus componentes, se inclui uma campânula de metal flutuante na cúpula, que funciona como um gasômetro, armazenado e comprimindo o gás produzido (PÉREZ, 2010, p.12).

Além de ser não-poluente, o biogás produzido a partir de dejetos animais pode ser considerado duplamente sustentável, por não provocar nenhum dano e ainda amenizar os danos já causados pela disposição e descarte equivocados desses dejetos, como elucidada Alves (2014) no trecho abaixo:

Os problemas ambientais causados pela destinação inadequada de dejetos no meio rural tem sido um problema para o meio ambiente e para os moradores das áreas rurais. Os dejetos dos animais são muito nocivos ao meio ambiente, pois entram em auto fermentação e lançam na atmosfera o gás metano, um dos que provocam o efeito estufa. Também podem chegar a contaminar o solo; e em um efeito em cascata, contaminar mananciais de águas, devido à infiltração no lençol freático quando de estações chuvosas (ALVES, 2014, n,p).

Souza, Borda e Schaeffer (2013) afirmam que o biogás está efetivamente entre os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, por todas as razões elencadas que fazem dele fundamental ao meio e à sociedade. No entanto, ele demanda uma estrutura, inclusive em termos de espaço, que não está disponível para a maior parte das pessoas.

Usinas de biogás satisfazem plenamente as qualificações de mitigação, saneamento, produção de biocombustível e de auto-sustentabilidade, quando inseridos dentro de projetos de MDL – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo. Porém, em função da oferta de biomassa a ser transformada, pode-se exigir a necessidade de uma infra-estrutura e de um modelo de biodigestão de grandes proporções. O custo da infra-estrutura e manutenção de um biodigestor pode ser um fator agravante à viabilidade de sua implantação e, conseqüentemente, ao requisito desta tecnologia ser considerada um elemento de desenvolvimento sustentável (SOUZA; BORBA; SCHAEFFER, 2013, p.12).

Pérez (2010) afirma que, além da economicidade, a questão ambiental e sustentável é o mais alto ponto do biogás, mas as vantagens dele não se restringem a tais, sendo um grande avanço tecnológico, ambiental e social, com amplos benefícios.

Recentemente, sobretudo após o descobrimento das mudanças climáticas, o tema da sustentabilidade vem ganhando cada vez mais protagonismo, principalmente na área de energia, o que representa uma grande oportunidade para qualquer empresa que tenha intenção de atuar nessa área ou introduzir inovações nas suas atividades, seguindo os princípios ecológicos. A partir da década de 1990, numerosos tratados internacionais destacaram o metano, principal componente do biogás, como um gás de efeito estufa. Por isso, o biogás tem potencial para ser atrativo, não só por seu valor intrínseco de venda e potencial calorífico, como também por seu potencial na obtenção de créditos de carbono por via do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, criado pelo Protocolo de Quioto. Além do aspecto meio-ambiental, os biodigestores têm numerosas aplicações como tecnologia social, a saber, geração de renda, melhoria na saúde e o saneamento, e acesso à energia e economia de tempo (PÉREZ, 2010, p. 9).

De acordo com Calza (2015), biogás é uma mistura gasosa, principalmente composta por metano e gás carbônico, com alto potencial combustível, destinada ao uso energético ou térmico. Elucida o autor que:

A geração de energia pode ser feita pela queima do biogás em turbinas, microturbinas e em motores do ciclo Otto e diesel, devidamente adaptados, sendo considerada uma fonte energética limpa e apropriada ao uso em propriedades rurais (CALZA, 2015, p.14).

O biogás, como aponta Alves (2014), pode tanto ser usado como fonte de calor, no uso classificado como direto, como convertido em energia elétrica, em seu uso indireto. Dessa forma, é possível que esse biocombustível produzido alimente as demandas da própria propriedade rural, reduzindo os custos energéticos, e que seu excedente seja vendido, o que configura, além de economicidade, possibilidades de ganhos e de lucros.

2.3.3 Vantagens do biodigestor no saneamento rural

O saneamento básico rural é o somatório de ações que tem por objetivo garantir o direito à saúde das pessoas, através sistemas de esgoto sanitário, de abastecimento de água e de destinação dos dejetos gerados, para que dessa forma ajudem a diminuição da poluição do meio ambiente.

Um fator potencialmente impactante na propriedade rural é o cuidado do manejo e da destinação adequada dos dejetos e ao esgotamento sanitário, com a finalidade de evitar a poluição do solo, da água dos córregos e rios, dos lagos e das represas, para estabelecer um ambiente sustentável.

Dessa forma o biodigestor contribui para dar a destinação correta dos dejetos orgânicos e realizar de forma controlada essa decomposição, evitando assim a contaminação do solo, da água e do ar.

O biogás produzido tem sua queima realizada no fogão e com isso o metano é convertido em gás carbônico, dessa forma gera uma redução na geração de gases de efeito estufa. Esse gás carbônico é utilizado durante a fotossíntese das plantas, e esse ciclo é fechado de forma sustentável.

O biofertilizante gerado na decomposição da matéria orgânica pode ter seu uso correto destinado à adubação na agricultura familiar, a fim de potencializar a produção de alimentos na região, gerando uma maior renda familiar.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da metodologia

O presente estudo encontrou na revisão geral da integrativa de cunho descritivo e abordagem qualitativa aplicada as partes integrantes do projeto em estudo de caso, a metodologia mais adequada para seu desenvolvimento, tendo em vista os objetivos traçados e a importância destinada à análise dos fatores componentes e tangentes ao problema de pesquisa composto, mais do que, efetivamente, números ou resultados que, embora ilustrem proficuamente a questão, não elucidam a respeito das causas e dos efeitos, que são, para fins desta pesquisa, mais relevantes. Em outras palavras, contrapõe-se à quantitativa porque os números importam menos do que aquilo que os permeia (MINAYO, 2002).

O método descritivo, escolhido para a pesquisa, permite uma análise minuciosa e mais aprofundada das proposições teóricas acerca do objeto de estudo (GERHARDT & SILVEIRA, 2009). O caráter da descrição pressupõe, também, o distanciamento do objeto do estudo em termos de interação, o que não altera o resultado pela participação do pesquisador.

As fontes desse tipo de estudo são obtidas por meio de publicações, entre livros, trabalhos acadêmicos e artigos científicos (MINAYO, 2002), o que implica em dizer que é uma pesquisa indireta, uma vez que a investigação do objeto é feita por meio das pesquisas e estudos de outros autores. É nesse ponto que a seleção do material, para esse tipo de pesquisa, se faz tão relevante, já que é a partir dele que o trabalho se sustentará e se desenvolverá, sendo as lentes através das quais se dará a observação necessária à presente pesquisa.

3.2 Materiais e métodos

A pesquisa da fundamentação teórica foi realizada em repositórios institucionais, acadêmicos e científicos que levassem a compreender as questões conceituais e a contextualização do tema e suas principais correlações. Foram realizadas pesquisas entre os meses de abril e agosto de 2021, em repositórios institucionais, científicos e

acadêmicos, com os descritores relacionados ao tema, como “biodigestor”, “biogás”, “biomassa”, entre outros relacionados a cada um dos subtópicos da fundamentação, de forma a trazer o devido embasamento e contextualização a cada um deles, permitindo, assim, uma compreensão mais ampla e integrada do estudo e sua proposta central.

O estudo consistiu nas etapas de criação do biodigestor, como será descrito na seção dos resultados com sua devida lista de materiais, quantidades e custos.

3.2.1 Construção do biodigestor

O projeto foi realizado com a utilização do software AUTOCAD, que ajudou em todo o processo, desde levantamento de material, até a sua efetiva construção.

O local de construção do biodigestor teve início em dezembro do ano de 2018, e foi interrompido com o início da pandemia do COVID-19 em 2020, com isso sua construção está interrompida até o momento da finalização desse estudo, que tem previsão para sua retomada de obra após as atividades serem retomadas.

O local foi escolhido à medida que ele ficaria estrategicamente localizado, logo abaixo do curral, para facilitar o recebimento dos dejetos e dessa forma poder facilitar a sua mistura na caixa de carga para sua homogeneização e dessa forma seguir para o interior do biodigestor, aonde irá ocorrer à decomposição dessa matéria orgânica e consequentemente a geração do metano.

A Figura 4 mostra a dupla que estava na construção direta da caixa de descarga, Vinícius Pereira e Paulo Neto estudantes da UFRJ-Macaé, preparando já a primeira fiada de tijolos, após a finalização da sua base. Isso mostra o espírito de equipe dos envolvidos para a realização desse projeto.



Figura 4 - Base da caixa de descarga.

Fonte: O autor, 2021

3.2.2 Cálculo da previsão energética e construtiva do biodigestor

O biogás é o produto da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, que ocorre dentro do biodigestor nesse projeto, que se dá através da ação de determinadas bactérias. É composto em sua maioria principalmente por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2). Podendo ter diversas formas de utilização desse gás para geração de energia, trabalho e para cozinhar.

A Tabela 3 apresenta, para alguns animais, a produção média de dejetos por dia, o potencial de geração de biogás e o equivalente em energia elétrica (kWh).

Tabela 3 - Índices de produção de biogás, GLP e kWh

Dejetos	Dejeto (kg/dia)	Biogás (m ³ /kg)	GLP (kg/dia)	Energia (kWh/dia)
Esgoto doméstico/hab.	1	0,035	0,016	0,05
Cachorro	0,33	0,035	0,0052	0,017
Galinha	0,18	0,090	0,0073	0,023
Caprinos / Ovinos	0,5	0,061	0,014	0,044
Resíduos vegetais	3	0,04	0,054	0,172
Suínos	2,5	0,075	0,084	0,268
Bovino de corte	10	0,040	0,180	0,572
Equino	10	0,048	0,216	0,686
Bovino de leite	10	0,049	0,221	0,701

Fonte: BGS, 2013; Olivier, 2008.

Nesta etapa, será avaliado no local a melhor posição para a construção do biodigestor de uma forma com que seja otimizado, facilitando o abastecimento no dia a dia do aparelho e que também seja a melhor forma de produzir e conduzir esse gás até a residência.

Conforme equação 01 abaixo, o volume de biogás total produzido por dia pode ser calculado.

$$VBTP = N \times QD \times VB [m^3 \cdot dia^{-1}] \text{ - equação 01}$$

Onde:

N = Quantidade de animais da espécie calculada

QD = Quantidade de dejetos produzidos por animal durante um dia [kg. dia⁻¹]

VB = Volume de biogás produzido por kg de dejeto [m³.kg⁻¹]

VBTP = Volume de biogás total produzido [m³.dia⁻¹]

Após essa etapa e os resultados obtidos, será possível encontrar o valor final convertido de energia elétrica a partir da fórmula abaixo:

$$\text{Valor} = \text{Energia} \times \text{Tarifa}$$

Na parte de cálculos para o dimensionamento do biodigestor será realizado conforme roteiro das equações de cálculo abaixo:

O volume bruto do biodigestor é dado pela equação 02:

$$V_b = \frac{\pi \times D_i^2 \times H}{4} [m^3] \text{ - equação 02}$$

Onde:

V_b = Volume bruto do biodigestor;

D_i = Diâmetro interno do biodigestor;

H = Altura do nível do substrato.

O volume do gasômetro, V_g é dado pela equação 03 abaixo:

$$V_g = \frac{\pi \times D_g^2 \times H_g}{4} [m^3] \text{ - equação 03}$$

Onde:

V_g = Volume do gasômetro;

D_g = Diâmetro do gasômetro ($D_g = D_i - 0,10$);

H_g = Altura do gasômetro.

Volume diário ocupado pela mistura

Para a determinação do volume ocupado pela mistura considerou a densidade de cálculo no valor de 1g/ml. Sendo a densidade da mistura ser superior ao valor

considerado, o valor obtido será superior ao real, sendo esse volume adicional utilizado como margem de utilização e demanda do biodigestor.

$$\text{Volume Diário} = [(\text{esterco}) \text{ kg} + (\text{água}) \text{ kg}] / 1.000\text{kg/m}^3$$

Tempo de Detenção Hidráulica – TDH

É o tempo necessário para ocorrer todo processo de produção de biogás com a mistura inserida na caixa de carga, equação 04 abaixo:

$$TDH = \frac{Vb}{Q} \text{ [d]}$$

Onde:

Vb = Volume bruto [m^3];

Q = Vazão de resíduos [$\text{m}^3.\text{d}^{-1}$];

TDH = Tempo de Detenção Hidráulica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Etapa 01

4.1.1 Caracterização do local e previsão de quantitativos

Considerando uma pequena propriedade rural voltada para agricultura familiar, composta por 14 galinhas, 2 vacas de leite, 3 cavalos e 2 porcos, levando em consideração os dados coletados na Tabela 2, podemos estimar a produção de biogás por essas propriedades e suas equivalências em GLP e energia elétrica.

Assim, para as condições acima descritas, levado em consideração os dados de quantidade de dejetos produzidos por dia por cada tipo de animal e quantidade de biogás produzido por kg de dejetos, contidos na Tabela 4, serão possíveis obter as quantidades de biogás para cada tipo de animal na propriedade, bastando aplicar a equação 01, vista na metodologia.

Sendo:

- 14 galinhas
 - $14 \times 0,18 \times 0,09 = 0,227 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de biogás
 - $14 \times 0,023 = 0,322 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$ de energia elétrica
 - $14 \times 0,0073 = 0,102 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ de GLP

- 2 vacas de leite
 - $2 \times 10 \times 0,049 = 0,980 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de biogás
 - $2 \times 0,701 = 1,402 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$ de energia elétrica
 - $2 \times 0,221 = 0,442 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ de GLP

- 3 cavalos
 - $3 \times 10 \times 0,048 = 1,440 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de biogás
 - $3 \times 0,686 = 2,058 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$ de energia elétrica
 - $3 \times 0,216 = 0,648 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ de GLP

- 2 porcos
 $2 \times 2,5 \times 0,075 = 0,375 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de biogás
 $2 \times 0,268 = 0,536 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$ de energia elétrica
 $2 \times 0,084 = 0,168 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ de GLP

Nessas condições, em um dia, essa propriedade poderia gerar uma quantidade de biogás de 3,022 m³ o que equivale a 4,318 kWh de energia elétrica ou 1,36 kg de GLP. Analisando o período de um mês, com 30 dias, chega-se a quantidade de 129,54 kWh de energia elétrica ou 40,8 kg GLP.

Atualmente, em Cantagalo/RJ, a tarifa rural convencional cobrada pela concessionária de energia elétrica por kWh é de R\$0,8518. Considerando as condições de produção de biogás proposta e a tarifa cobrada, pode-se obter um rendimento mensal no valor de R\$110,34. Veja abaixo, conforme equação de valor total de energia x tarifa:

$$\text{Valor} = 129,54 \times 0,8518$$

$$\text{Valor} = \text{R\$ } 110,34$$

4.2 Etapa 02

4.2.1 Dimensionamento e escolha do Biodigestor

O modelo indiano foi a melhor escolha para o local, tendo em vista que a sua produção de gás é maior que os demais, conforme visto no levantamento teórico bibliográfico e nesse projeto o fornecimento do fluxo de biogás deve ser constante para sua queima correta no fogão, com isso é colocado um lastro em cima do gasômetro, para ajudar nesse processo de manter a pressão constante, no modelo chinês não consegue controlar a pressão em fluxo constante.

O cálculo do volume bruto do biodigestor é dado pela equação 02:

$$Vb = \frac{\pi \times D^2 \times H}{4} = \frac{3,14 \times 2,16^2 \times 1,0}{4} = 3,66 \text{ m}^3$$

O cálculo do volume do gasômetro, V_g é dado pela equação 03:

$$V_g = \frac{\pi x D g^2 x H g}{4} = \frac{3,14 x 2,06^2 x 0,9}{4} = 3,00 m^3$$

Conforme cálculos realizados, irá ser utilizada uma caixa d'água de 3.000 l de fibra como gasômetro.

4.2.2 Volume Total do Biodigestor

Como os dejetos serão misturados com água numa proporção de 1 litro de esterco para 1 litro de água, as dimensões do gasômetro dependem das dimensões do reservatório do biodigestor que será escolhido, porém seu volume deverá respeitar as proporções do biodigestor. As caixas de entrada e descarga não são equacionadas para o modelo indiano, ficando sujeitas ao critério da demanda de carga de entrada, e deverão ter capacidade para no mínimo 75 litros, pois toda a carga diária não será inserida de uma só vez na caixa de carga.

A Figura 5 apresenta o modelo inicial para a construção do biodigestor seguindo os parâmetros definidos. A partir desse modelo conceitual, é possível pesquisar os materiais e equipamentos com o melhor custo benefício para a construção de um biodigestor eficiente e de baixo custo.

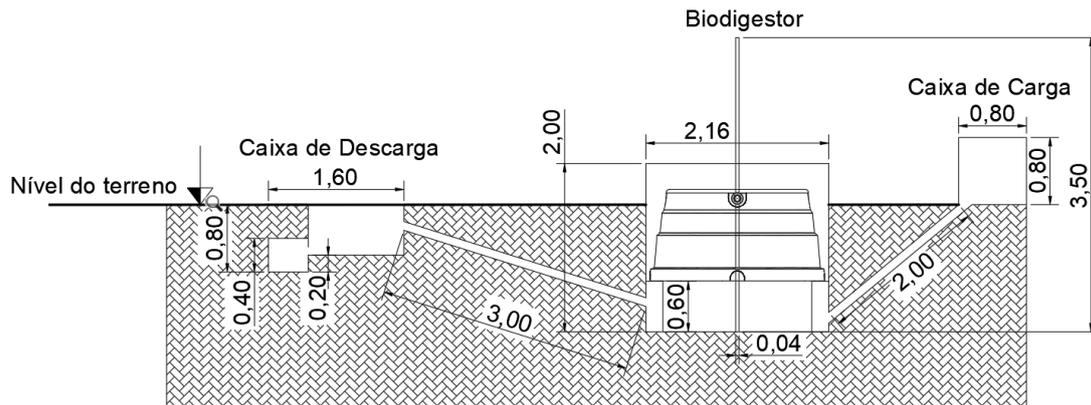


Figura 5 - Modelo inicial para a construção do biodigestor.

Fonte: Autor, 2021

O volume do Biodigestor é de 3.700l e Volume Total do gasômetro 3.000l

4.2.2.1 Volume diário ocupado pela mistura

O volume diário ocupado pela mistura é dado da seguinte forma:

$$[57,5\text{kg (esterco)} + 57,5 \text{ kg (água)}] / 1.000\text{kg/m}^3 = 0,12 \text{ m}^3$$

O resultado é 0,12 m³ de volume da mistura diária.

4.2.2.2 Tempo de Detenção Hidráulica – TDH

O tempo necessário para ocorrer todo processo de produção de biogás com a mistura inserida na caixa de carga é de:

$$TDH = \frac{3,7}{0,12} = 30,83 \text{ dias}$$

O resultado é de aproximadamente 31 dias.

4.3 Utilização do gás Metano

Foi idealizada para esse projeto a utilização para gás de cozinha ou energia elétrica e também pode ser pensando um modelo híbrido, utilizando parte da produção para gás de cozinha e o restante para produção de energia elétrica, utilizando um gerador a gás.

4.3.1 Utilização de gás de cozinha

Foi considerado para cálculo desse trabalho uma família rural consumindo 1 botijão de gás de 13 kg/mês, no valor de R\$100,00, tendo em vista que se produzirá 1,36 kg GLP por dia pelo biodigestor, ao final do mês terá produzido 40,80 kg de GLP, convertendo dará 3,14 botijões por mês, ou seja, R\$314,00 de economia na renda mensal, gerando 100% na redução desse custo.

4.3.2 Utilização do gás para gerar energia elétrica

Foi considerado para esse trabalho uma família rural gastando em média 150 kWh/mês, tendo em vista a produção do biodigestor de 129,54 kWh/mês, com R\$0,8518 o preço do kWh, teria uma economia de R\$110,34 na energia elétrica ao final do mês, gerando uma redução no custo de aproximadamente 86%.

4.4 Lista de material, quantidade e o preço sugerido

A Tabela 4 apresenta a lista de materiais que serão utilizados na execução do projeto, com os valores gastos para a execução. Os valores foram cotados na cidade de Macaé/RJ no mês de outubro de 2021 em lojas de fácil acesso a população em geral.

Tabela 4: Materiais necessários para a construção do biodigestor e valores sugeridos (em outubro de 2021)

ITENS	FINALIDADE	UNID.	QUANT.	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Ferro 6,3mm	Piso do tanque	Kg	4	40,00	160,00
Arame 12 galvanizado	Amarração do tanque	Kg	5	18,00	90,00
Brita 01	Lastro da câmara de fermentação	M ³	0,5	130,00	65,00
Caixa de fibra 3.000l (FORTLEVE)	Câmara de Fermentação	Unidade	1	1750,00	1750,00
Zinco 0,40m	Lastro da câmara de fermentação	Kg	8	14,50	116,00
Tela de nylon (1,5x0,80m)	Caixa de descarga	Metro	1	14,00	14,00
Tijolo 08 furo (9x19x19cm)	Caixa de descarga – batentes – sapata – parede	Unidade	3.000	0,30	900,00
Cano PVC esgoto 100mm	Cano de carga	Metro	2	15,00	30,00
Cano PVC esgoto 150mm	Cano de descarga	Metro	3	20,00	60,00
Cano PVC rígido 50mm	Cano guia externo – tanque	Metro	3	10,00	30,00
Cano de ferro 40mm	Cano guia interno – tanque	Metro	3	21,50	64,50
Parafuso francês 6” (15cm) 3/8”	Cano guia	Unidade	1	4,00	4,00
Parafuso francês 4” (10cm) 5/16”	Trave de retenção	Unidade	2	2,00	4,00
Barrote de madeira 7x7	Trave de retenção	Metro	7	14,00	98,00
Cano PVC rígido 60mm	Cano guia da câmara de fermentação	Metro	1,5	24,00	36,00
Flange 60x60mm	Cano guia da câmara de fermentação	Unidade	1	33,00	33,33
Tábua 0,15x0,04m	Cano guia da câmara de fermentação	Metro	2	16,00	32,00
Parafuso francês 3” (7cm) 3/8”	Base de madeira do cano guia	Unidade	4	4,00	16,00

Cano PVC esgoto 75mm	Dreno	Metro	1	9,00	9,00
Cap PVC esgoto 75mm	Dreno	Unidade	2	6,50	13,00
T PVC rígido 20mm	Dreno	Unidade	1	7,00	7,00
Cano PVC rígido 20mm	Tubulação de gás	Metro	75	2,00	150,00
Joelho PVC rígido 20mm	Tubulação de gás – filtro de água	Unidade	7	1,50	10,50
Adaptador com flange 20mm	Saída de gás – filtro de água	Unidade	2	10,00	20,00
Adaptador longo com flange livre	Filtro de água	Unidade	1	14,00	14,00
Mangueira plástica 25mm	Ligação da saída de gás com a tubulação de gás	Metro	5	5,00	25,00
Registro de esfera 20mm	Início e término da tubulação de gás	Unidade	2	12,00	24,00
Abraçadeiras rosca sem fim 1/2”	Ligações da mangueira de gás	Unidade	3	3,00	9,00
Garrafão acrílico de água mineral 20l	Filtro de água	Unidade	1	25,00	25,00
União 20mm	Filtro de água	Unidade	1	3,50	3,50
Cola PVC pequena		Unidade	1	3,50	3,50
Cimento saco 50kg – CPII		Saco	10	25,00	250,00
Areia		M ³	1	95,00	95,00
Mão de obra especializada		Dias/homem	5	100,00	500,00
Mão de obra não especializada		Dias/homem	6	60,00	360,00
TOTAL GERAL		R\$			5021,00

Fonte: O autor, 2021.

Comparado a um biodigestor de 3.000l (fabricante Acqualimp), tamanho inferior ao deste projeto, tem o valor médio de R\$8.000,00

4.5 Projeto final

Tendo como base o modelo indiano escolhido, a construção do biodigestor se iniciará com a escolha do local onde será construído, o mesmo deve ser próximo ao curral para facilitar a carga, pois é melhor transportar o gás que é leve comparado a transportar a mistura para alimentar o biodigestor, caso o mesmo fosse construído perto da casa e não do curral.

O local deve pegar o máximo de sol possível, pois o calor é um importante fator na eficiência da produção do biogás, por isso não são recomendados locais sombreados.

Após a escolha do local onde o aparelho será instalado, é iniciada a escavação do buraco central, que abrigará o tanque principal, da caixa de descarga e das canaletas.

O buraco principal terá em torno de 2 m de profundidade e cerca de 3 m de diâmetro, na largura, para permitir a construção do tanque. As canaletas são escavadas em declive desde a parte baixa do buraco principal, partindo de uma profundidade de 1,80 m (0,20 m a partir do fundo do buraco) até a superfície. É recomendado que o comprimento da canaleta para o sistema de carga seja 2 m para a caixa de carga e de 3 m para a caixa de descarga, como na Figura 6.

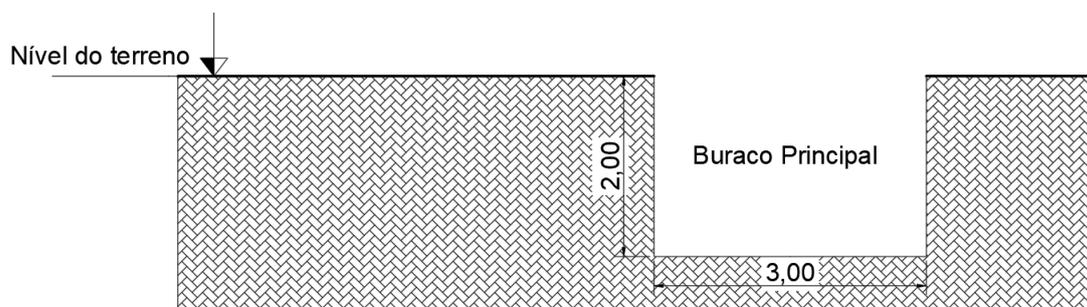


Figura 6 - Esquema do buraco principal.

Fonte: O autor, 2021

Na base do biodigestor no buraco principal terá uma camada de brita 01 de 0,1 m de altura, a fim de gerar uma resistência maior no local para apoio do aparelho. O piso do biodigestor deve ser nivelado com prumo para garantir o perfeito nível, será construído com uma armação de aço feito com vergalhão no formato de um círculo com diâmetro de 2,16 m, colocado no centro do buraco principal e amarrado com arame.

Após fazer uma cruz com 4 pedaços de vergalhão de 2,16 m, amarrado com arame. No centro deve-se assentar 4 tijolos para fazer de base para fixação do cano guia de 40 mm com 3,5 m de comprimento, para facilitar a sua colocação no local exato pode ser utilizado uma madeira apoiada na superfície do terreno, conforme figura 7.



Figura 7 - Base do biodigestor.

Fonte: O autor, 2021

Após a fixação do cano no piso, o mesmo deve ser todo preenchido com uma nata feita de cimento e água até o topo, em seu topo deve-se colocar um parafuso francês 6" x 3/8" no centro, deixando a rosca do mesmo para fora com ao menos 10 cm do parafuso para fora.

Ao final da guia deve-se utilizar barrote de 7x7 cm como trava de segurança de final de curso do gasômetro. Duas barras laterais são fixadas no chão ao lado do buraco, enquanto uma terceira, onde se encaixa o cano guia, é colocada transversalmente no topo, formando a trave. (MATTOS; FARIAS JÚNIOR, 2011).

O biodigestor deve ultrapassar em ao menos 20 cm para acima do nível do solo, a fim de evitar a entrada da água de chuva que escoar pelo terreno, com o objetivo de não prejudicar a operação de geração do biogás.

Após a construção de suas paredes deve ser feita uma amarração de arame galvanizado ao redor de todo seu perímetro. Deve ser rebocado por dentro e por fora, conforme figura 6.



Figura 8 - Biodigestor em construção.

Fonte: O autor, 2021

A construção de 3 batentes de fundo, distribuídos igualmente, se faz necessária com objetivo de evitar com que o gasômetro encoste no fundo e feche as tubulações. Eles devem ficar com uma altura superior à das tubulações de entrada e de saída.

Para finalizar com a movimentação de terra do buraco, deverá ser preenchido com a mesma terra removida na escavação o vão entre parede do buraco e do tanque.

Terá uma caixa de carga mais elevada do que o nível do solo, sendo necessária escavação apenas para sua tubulação.

A caixa, figura 7, é feita de alvenaria em formato circular com uma altura de 4 fiadas de tijolo 8 furos de 9 cm x 19 cm x 19 cm, deve ser rebocado por dentro e por fora. O formato cilíndrico mostrou-se mais adequado porque permite misturar o esterco fresco com um pouco de água, na proporção de 1:1, isso melhora a homogeneização do material facilitando a carga no biodigestor. Tem um raio de 40 cm, tem um furo de 100 mm para o assentamento do tubo de lançamento da mistura no aparelho. Tal como figura abaixo.

Caixa de Carga

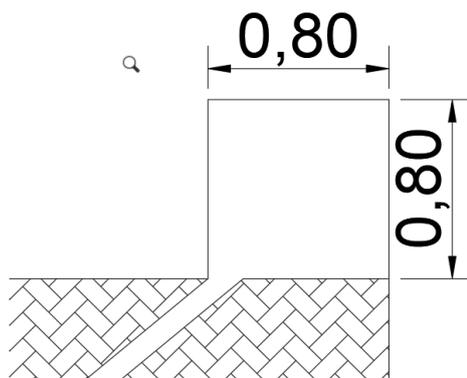


Figura 9 - Caixa de carga de alvenaria.

Fonte: O autor, 2021

A caixa de descarga, figura 8, deve ser cavada para com que seu nível de fundo fique abaixo do nível do terreno, para a descarga acontecer corretamente, ficando abaixo do nível de carga. Esta tem dois níveis de profundidade, terá 1,60 m de comprimento, deverá ser feita uma parede divisória a fim de separar o líquido do sólido.

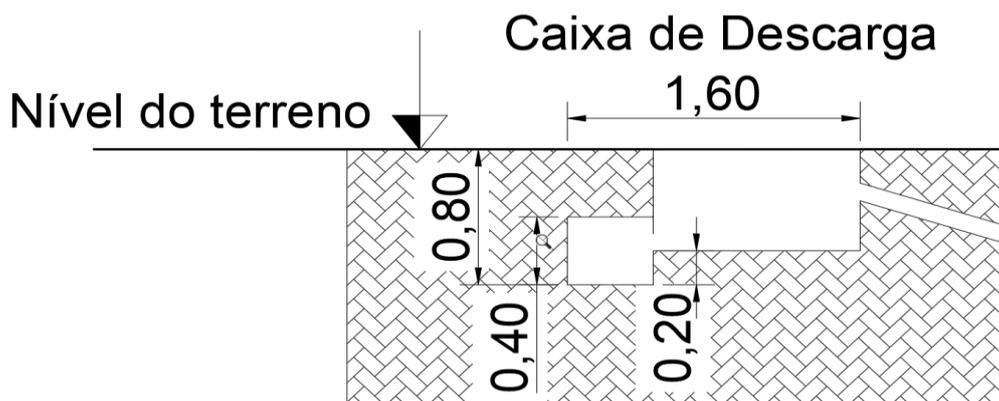


Figura 10 - Níveis de profundidade da caixa de descarga.

Fonte: O autor, 2021

Ao fundo do reservatório mais elevado deverá ser colocada uma camada de brita cobrindo os tubos com o objetivo de separação e filtragem da mistura final.

Na etapa de preparação do gasômetro, deverá ser iniciado com o furo de 60 mm para passagem do cano guia, exatamente no centro para não esbarrar nas paredes laterais do biodigestor. Será instalado um flange para o cano de pvc que atuará como guia nesse trajeto de subida e descida.

Deverá ser realizado também ao lado um furo de 20 mm para instalação do flange para a tubulação de gás. Esse reservatório terá uma base para o cano guia utilizando uma tábua de madeira com a maior largura da caixa d'água. Essa tábua irá ser instalada utilizando 4 parafusos franceses 3'' x 3/8'', cada um em uma extremidade da tábua.

Para poder manter a pressão do gás constante será instalado um lastro sobre o gasômetro, para evitar falhas no trajeto do gás até o seu ponto de utilização. Será uma cinta de zinco com 30 cm de altura preenchida com terra, podendo ser utilizado inclusive como um canteiro de plantas, com isso atingimos a uniformidade na pressão de distribuição do biogás.

O processo de distribuição do biogás será dado a partir de tubulações e conexões de 20 mm, em toda sua extensão de aproximadamente 75 m. Logo no início terá um tubo de 20mm e 30 cm de comprimento saindo do flange, em seguida um registro de gaveta, para posteriormente ser instalado o filtro de impurezas. Esse filtro elimina alguns gases presentes no biogás que possam vir a gerar um odor desagradável. Quando o odor de sua queima já estiver sendo percebido, é sinal de que está no momento certo de trocar o filtro.

A tubulação de gás deverá ser feita sempre que possível enterrada, e seguir pelo menor caminho, a fim de obter uma menor exposição durante o trajeto, minimizando os riscos de vazamentos.

O biogás gerado do processo de biodigestão contém uma umidade elevada, tendo isso em vista, é necessário instalar drenos nos pontos mais baixos do trajeto de distribuição pois são pontos acumuladores e dessa forma melhorar a queima do gás.

O dreno é constituído de um "T" e um cano imerso em água, dentro de um tubo 75 mm, o mesmo usado em esgotos, como o indicado na figura. O dreno é fechado com um "Tampão" ou "CAP" colado na base para que ele mantenha uma coluna de água permanentemente (MATTOS; FARIAS JÚNIOR, 2011).

4.6 Viabilidade

O projeto visa utilizar materiais de fácil acesso e seu processo de manutenção é facilitado, dispensando altos custos com mão de obra especializada, a fim de tornar ainda mais atrativo sua instalação.

Tendo em vista os resultados gerados com o estudo, é possível concluir que o projeto de construção de um biodigestor tem viabilidade financeira por ter um custo aproximadamente 40% menor frente ao modelo comercial pré-fabricado e também existe viabilidade técnica pois foi planejado com materiais acessíveis no mercado e sua construção é de baixa complexidade, evitando assim mão de obras caras, além disso tem toda parte de redução dos gases nocivos ao meio ambiente, possibilitando progredir de forma sustentável.

O tempo de Payback do projeto dá-se em aproximadamente 1 ano e 5 meses, após esse período, o valor entrará como um saldo positivo para essa família, podendo trazer uma economia para a família de até R\$ R\$314,00, isso apenas com o biogás, para isso foi considerado que a família comprasse botijão de gás mensalmente.

Tendo como base o salário mínimo de 2021, no valor de R\$1.100, isso representa aproximadamente 29% do salário mínimo mensal.

Embora Pérez (2010) afirme que uma unidade de tamanho familiar tenha baixo custo e simples construção, pontua também o autor que a capacidade de produção de biogás nesse porte é muito pequena, não sendo vista, efetivamente, como um atrativo para a maior parte das famílias.

O biogás produzido em uma unidade familiar é apenas suficiente para cozinhas as refeições da família. Uma família com muitos animais poderia construir um modelo de maior tamanho, transformar o gás em eletricidade usando um gerador especial e assim, suprir todas as necessidades energéticas. Porém, isso está fora do alcance da maioria dos pequenos agricultores (PÉREZ, 2010, p. 10).

No entanto, o que o estudo aponta é a existência de uma vantagem econômica razoável, a baixo custo, com simples implantação e retorno a médio prazo, após 1 ano e meio, em média.

O valor de biogás produzido de aproximadamente 90,00 m³/mês é satisfatório pois dessa forma pode ser utilizado de diferentes formas, gera aproximadamente 129,54 kWh de energia ou 40,8 kg de GLP.

5 CONCLUSÃO

A viabilidade do projeto foi atestada pelos cálculos realizados, entendendo-se que os conhecimentos científicos e acadêmicos podem ser não só aplicados às demandas sociais, como flexibilizados em relação a essas realidades, adaptando estruturas para que se reduza custos, se simplifique os processos e se tenha uma maximização dos resultados.

A tecnologia de uma biodigestão anaeróbica se mostra eficiente no ambiente rural, com a finalidade de tratar os dejetos de animais servindo como uma fonte mitigadora dos danos ambientais, servindo como filtro e tendo como produto final a geração de biogás e biofertilizante.

Dessa forma é possível concluir que com a aplicação dessa tecnologia, pode ser alcançado o desenvolvimento sustentável, em termos ambientais, econômicos e sociais, trazer esse avanço para a zona rural é importante para dar autonomia às famílias.

É válido destacar que esse projeto atinge os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil, alinhado com a agenda Brasil 2030 da ONU, provando que se tornou uma ótima alternativa sustentável para as famílias brasileiras, contribuindo com a redução da crise energética, reduzindo os impactos ambientais e gerando renda.

Deixamos como proposta para possíveis novos trabalhos, um aprofundamento dos valores aqui obtidos a longo prazo, e o impacto sócio econômico que tal modelo pode apresentar para a região em que foi implantado e também expandir os valores para uma região maior. São recomendados estudos de segurança do gasômetro para avisar quando a altura estiver muito baixa, muita alta ou no nível recomendado de utilização. Adicionalmente é recomendado estudar o resíduo sólido gerado na produção do biogás.

É interessante para a verificação dos valores aqui obtidos um monitoramento dessa instalação finalizada para poder conferir com o real e assim poder fazer uma análise mais ampla a respeito desse estudo.

Referências Bibliográficas

ALTOÉ, Leandra. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, v.31, n.89, 2017.

ALVES, Marceluci de Oliveira. **Biodigestores: fonte renovável de energia**. VII Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica, 2014.

ARAÚJO, Alyna R. Antunes de. **Dimensionamento de um biodigestor rural para o assentamento trangola**. V Congresso Brasileiro dos Engenheiros sem Fronteiras, 2018.

BARBIERI, José Carlos. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, v.50, n.2, 2010.

BARBOSA, George; LANGER, Marcelo. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **UNOESC & Ciência**, v.2, n.1, 2011.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é e o que não é**. Petrópolis: Vozes, 2017.

CALZA, Lana F. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.6, 2015.

COLETTE, Maria Madalena da Silva. Novos cenários de aprendizagem, inovação e sustentabilidade. **RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, v.2, n.1, 2014.

CORRÊA, Lásaro Roberto; VIEIRA, José Cláudio. **Sustentabilidade na Construção Civil**. UFMG, Belo Horizonte, 2009.

D'AMBROSIO, Ubiratan. A transdisciplinaridade como uma resposta à sustentabilidade. **Revista Terceiro Incluído**, v.1, n.1, 2011.

FREIRE DIAS, Genebaldo. **Pegada ecológica e sustentabilidade humana**. Porto Alegre: Global, 2015.

GREGÓRIO, Vera; MARTINS, Margarida Quintela. **Água e energia: conexões para uma nova sustentabilidade**. VIII Congresso Nacional de Geografia, Lisboa, 2011.

LIMA, Carolina Carneiro; CARVALHO, Lucas Magalhães de Oliveira. A produção de energia elétrica, a exaustão ambiental da fonte hídrica e a opção proveniente da base eólica renovável. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.1, 2018.

MARTINS, Franco; OLIVEIRA, Paulo. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. **Energia na Agricultura**, v.31, n.3, 2011.

MATTOS, Luiz Cláudio; FARIAS JÚNIOR, Mário. **Manual do biodigestor sertanejo: Projeto manejo sustentável de terras**. Recife: Projeto Dom Hélder, 2011.

PÉREZ, Cristina Martínez. **Construção de biodigestores domésticos como negócio inovador**. Dissertação (Mestrado). Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2020.

POMPELLI, Marcelo Francisco. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomía Colombiana**, v.29, n.2, 2011.

ROOS, Alana; BECKER, Elsbeth Leia Spode. Educação ambiental e sustentabilidade. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.5, n.5, 2012.

SANTOS, Henrique Teixeira; BERTULINO, Rafael Rodrigues; PFEIFER, Thyago Tonetto. **Tecnologias sustentáveis aplicadas a edifícios residenciais**. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2010.

SILVA, Wandenúzia de Oliveira. **Análise de viabilidade econômico-financeira de implantação e operação de um biodigestor caseiro para o aproveitamento de dejetos bovinos em uma comunidade rural do município de Aurora-CE**. Monografia (Graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

SOUZA, José de; BORBA, Antonio Pereira; SCHAEFFER, Lirio. **Materiais para a fabricação de biodigestores**. Agrener, 2013.

VEIGA, José Eli da. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, 2010.

VEIGA, José Eli da. **Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor**. Rio de Janeiro: SENAC, 2019.

YEMAL, J.A; TEIXEIRA, N.O.V; NAAS, I.A. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 3rd International Workshop: Advances in Cleaner Production, 2011.

Com alto preço, gás é trocado por lenha. d24am, 2021. Disponível em: <<https://d24am.com/economia/com-alto-preco-gas-e-trocado-por-lenha/>>. Acesso em: 11, outubro e 2021.

APÊNDICE A - PROJETO DETALHADO DO BIODIGESTOR

