



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL-PB

JOSÉ LUCAS DE SOUZA ABREU

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE USINA DE BIOGÁS EM UMA
AGROINDÚSTRIA DO SERTÃO PARAIBANO

POMBAL-PB

2017

JOSÉ LUCAS DE SOUZA ABREU

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE USINA DE BIOGÁS EM UMA
AGROINDÚSTRIA DO SERTÃO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador(a): Prof. Dr^a. ROBERLÚCIA ARAÚJO CANDEIA

POMBAL-PB

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A162v Abreu, José Lucas de Souza.
Viabilidade técnica e econômica de usina de biogás em uma agroindústria do Sertão Paraibano / José Lucas de Souza Abreu. – Pombal-PB, 2017.
81 f. Il.: color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2017.
"Orientação: Profa. Dra. Roberlúcia Araújo Candeia".
Referências.

1. Energia – Biodigestor. 2. Processamento de Produtos de Origem Animal. I. Candeia, Roberlúcia Araújo. II. Título.

CDU 62:504(043)

JOSÉ LUCAS DE SOUZA ABREU

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE USINA DE BIOGÁS EM UMA
AGROINDÚSTRIA DO SERTÃO PARAIBANO

Aprovado em 27/03/2017

BANCA EXAMINADORA

Roberculia Araújo Candeia

Profª. Dra. Roberlúcia Araújo Candeia
Orientadora – UFCG/Campus de Pombal – PB

Emanuel Tarcisio do Rego Farias

Me. Emanuel Tarcisio do Rego Farias
Examinador Interno – UFCG/Campus de Pombal - PB

Itala Zimara do N. Medeiros

Me. Itala Zimara do Nascimento Medeiros
Examinadora Externa

Pombal – PB

Março 2017

“Somente assumindo as responsabilidades individuais e coletivas que nos cabem, criaremos a base ética necessária para dar respostas efetivas aos desafios do nosso tempo”.

(SAMEK, 2015)

AGRADECIMENTOS

Em tudo dai graças (1 Tessalonicenses 5:18).

Agradeço primeiramente e primordialmente a Deus, Pai Celestial, que me conduziu nesta jornada que se finda. Por sua imensa misericórdia e amor dou graças ao Senhor.

Ao amor materno e paterno de meus Pais, que sempre me incentivaram e a quem devo tudo que sou e tudo que tenho. Por todo o esforço que fizeram por mim e pelas minhas amadas irmãs, aqui segue meu profundo agradecimento.

As minhas irmãs, as quais são exemplo para mim, e que me inspiraram a trilhar pelo caminho do conhecimento e que também foram fonte de força e apoio nesta caminhada, ao lado dos meus cunhados, estendendo aqui este importante agradecimento a toda a minha família.

A minha amada noiva que por obra Divina juntou nossas vidas para juntos seguirmos até o fim. Agradeço todo o apoio, paciência e cuidado durante esta jornada, obrigado por juntos vencer cada desafio que a vida nos trouxe.

Em especial a minha Orientadora, Prof. Dra. Roberlúcia Araújo Candeia que com atenção maternal engrandeceu meus passos nessa jornada acadêmica. A ela devo todos os conhecimentos de química que hoje sei, pois sua brilhante sabedoria me instruiu desde o Ensino Médio. Agradeço ainda, por ser a inspiração deste trabalho, na qual apresentou-me a tecnologia da biodigestão anaeróbia no segundo ano desta graduação. E em nome desta brilhante professora agradeço todos os Professores que de forma fundamental e insubstituível contribuíram com essa jornada, em especial aos Professores: Dr. Camilo Allyson Simões de Farias, Dr. José Cleidmário Araújo Leite, Dr. Alexandre Paiva da Silva, Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz, Dr. Luís Gustavo de Lima Sales, Dra. Rosinete Batista dos Santos, Dra. Érica Cristina Medeiros Machado e a Dra. Virginia de Fátima Bezerra Nogueira.

Aos técnicos de laboratório Emanuel Tarcísio do Rêgo de Farias e Jeanne Freire de Medeiros. A Secretária Gerusia Trigueiro Bezerra. E aos amigos companheiros de curso em nome de Mikaele Gomes Batista e Ulisses Alencar Bezerra. E ao empreendedor Alécio Tadeu Rosado Trigueiro, o meu muito Obrigado!

ABREU, J. L. S. **Viabilidade técnica e econômica de usina de biogás em uma agroindústria do sertão paraibano.** 2017. 81 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2017.

RESUMO

As atividades das agroindústrias de processamento de produtos de origem animal, como laticínios e a suinocultura de corte são atividades potencialmente geradoras de dejetos, com elevada carga orgânica. No entanto, o elevado valor de matéria orgânica, que expressa à carga poluidora, reflete o potencial energético desses dejetos utilizados como matéria-prima na geração de biogás, por meio da tecnologia dos biodigestores, que, quando bem empregada, proporciona a produção de energia limpa e promove à conservação do meio ambiente. Este trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica de uma Usina de Biogás em uma Agroindústria do Município de Pombal, Sertão Paraibano, com o intuito de promover para a região uma alternativa de empreendimento sustentável, visando o aproveitamento energético. Para tanto, foi necessário o estudo da realidade dos aspectos fisiográficos e econômicos da agroindústria, estimando o volume de dejetos gerados e do biogás a ser produzido, resultando no dimensionamento de um Biodigestor Canadense de 250 m³ e demais instalações que compõem a usina, além de um Conjunto Motor-Gerador para atendimento da demanda de energia elétrica. Com um investimento inicial estimando de R\$ 44.068,98 e uma economia anual de R\$8.460,00 o investimento para os cenários de vida útil de 10 e 15 anos, se pagaria pelo período de retorno simples em cinco anos, atestando sua viabilidade econômica.

Palavras-chave: Energia. Biodigestor. Dimensionamento.

ABREU, J. L. S. **Technical and economic viability of biogas plant in an agribusiness in the Sertão Paraíba.** 2017. 81 fls. Graduation in Environmental Engineering, Federal University of Campina Grande, Pombal-PB. 2017.

ABSTRACT

The activities of agroindustries for the processing of animal products such as dairy products and cutting pig farms are potentially wasteful activities with high organic load. However, the high value of organic matter, which expresses the pollutant load, reflects the energy potential of these wastes used as raw material in biogas generation, through the technology of biodigesters, which, when well used, provides the production of energy Clean and promote the conservation of the environment. The objective of this work was to evaluate the technical and economic viability of a Biogas Plant in an Agroindustry of the Municipality of Pombal, Sertão Paraibano, with the aim of promoting a sustainable alternative to the region, aiming at the use of energy. For that, it was necessary to study the reality of the physiographic and economic aspects of the agroindustry, estimating the volume of waste generated and the biogas to be produced, resulting in the design of a 250 m³ Canadian Biodigester and other facilities that make up the plant, besides A Motor-Generator Set to meet the demand for electricity. With an initial investment estimated at R \$ 44,068.98 and an annual savings of R \$ 8,460.00, the investment for the 10 and 15 year life scenarios would be paid for the simple return period in five years, attesting to its economic viability.

Keywords: Energy. Biodigester. Sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de manejo de resíduos de suínos	25
Figura 2. Rota Metabólica da biodigestão anaeróbica.....	26
Figura 3. Estrutura de um biodigestor do tipo Indiano.....	28
Figura 4. Estrutura de um biodigestor do tipo Chinês.....	29
Figura 5. Estrutura de um reator CSTR.....	29
Figura 6. Estrutura de um reator UASB	30
Figura 7. Estrutura de um biodigestor tipo Canadense.....	30
Figura 8. Equivalência energética do biogás com outros combustíveis	32
Figura 9. Localização da Agroindústria estudada	35
Figura 10. Componentes e variáveis do biodigestor canadense	38
Figura 11. Limite físico da agroindústria, em estudo	42
Figura 12. Mapa Hidrográfico correspondente a todo perímetro da agroindústria	44
Figura 13. Declividade e curvas de nível da área de estudo.....	44
Figura 14. Uso e ocupação do solo pela Agroindústria.....	45
Figura 15. Crescimento do rebanho suíno do município de Pombal nos últimos 10 anos	46
Figura 16. Instalações do Laticínio da Agroindústria.....	47
Figura 17. Instalações da Pocilga na Agroindústria	47
Figura 18. Deposição dos dejetos sobre o solo.....	48
Figura 19. Consumo mensal de energia elétrica da propriedade em kWh e R\$.....	51
Figura 20. Área de implantação da usina de biogás proposta no estudo	51
Figura 21. (A) Vista frontal e (B) Vista lateral do biodigestor canadense, após ser dimensionado.....	53
Figura 22. Proposta de proteção do biodigestor com telhas de fibrocimento.....	54
Figura 23. Biodigestor Canadense com Caixas de Entrada e Saída	55
Figura 24. Sistema de filtragem física do biogás proposta.....	58
Figura 25. Modelo do dreno de biogás proposto	59
Figura 26. Indicação da instalação de drenos segundo recomendações	59
Figura 27. Disposição das instalações da UPB	61
Figura 28. Equipamentos adicionais propostos	62
Figura 29. Conjunto motor-gerador escolhido para atender as demandas destacadas	65
Figura 30. Abrigo para o conjunto motor-gerador	66
Figura 31. Adaptadores para os queimadores de fogões domésticos	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Elementos que compõe o conceito de Agroindústria	20
Quadro 2. Valores e métodos utilizados no dimensionamento	37
Quadro 3. Equações do modelo para biodigestor canadense.....	39
Quadro 4. Procedimentos para instalação da usina	60
Quadro 5. Especificações técnicas do motor escolhido.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção diária de dejetos suínos.....	23
Tabela 2. Composição do biogás segundo a literatura	31
Tabela 3. Caracterização físico-química dos dejetos suínos da agroindústria	49
Tabela 4. Estimativa produção de dejetos suínos por dia na pocilga	49
Tabela 5. Estimativa da água utilizada na pocilga da Agroindústria.....	50
Tabela 6. Dimensões do biodigestor canadense projetado para a agroindústria em estudo	52
Tabela 7. Estimativa da produção de biogás	55
Tabela 8. Estimativa da geração de kWh pelo biogás produzido	63
Tabela 9. Estimativa da potência média de partida em kW.....	64
Tabela 10. Orçamento da Usina de Biogás proposta.....	69
Tabela 11. Orçamento do plano de manutenção da Usina de biogás	70
Tabela 12. Estimativa de Economia diária com energia elétrica para a Agroindústria.....	71
Tabela 13. Fatores econômicos de viabilidade analisados	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOGÁS - Associação Brasileira de Biogás
ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal
AIE - Agência Internacional de Energia
Aw - Clima tropical, com inverno seco
C:N - Relação carbono/nitrogênio
CC – Ciclo Completo
CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CH₄ – Metano
CHP - Combined Heat and Power
CNA - Confederação Nacional de Agricultura
CO₂ – Dióxido de Carbono;
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSTR - ContinuousStirredTankReactor ou Reator Contínuo de Mistura Completa
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPDM – Etileno-Propileno-Dieno
FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura
FRC - Fator de recuperação do capital
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
H₂S – Sulfeto de hidrogênio
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEME - Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
kcal – Quilo calorias
kg – Quilograma;
Km – Quilometro
kW – kilowatt
kW/m³ – kilowatt por metro cúbico
kWh – kilowatt hora
L – Litro

L/dia – Litro por dia

Lat – Latitude

Long – Longitude

m – Metro

m² – Metro quadrado

m³ – Metro Cúbico

m³/dia – Metro Cúbico por dia

m³/kg – Metro Cúbico por Quilograma

MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

mm - Milímetro

N₂ - Nitrogênio

N₂O - Óxido nitroso

NH₄⁺ - Amônio

PB – Paraíba

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

pH – Potencial Hidrogeniônico

PIB - Produto Interno Bruto

PNBB - Programa Nacional do Biogás e do Biometano

ppm – Partes por milhão

PRD - Período de retorno descontado

PRS - Período de retorno simples

PVC – Cloreto de Polivinila (do inglês PolyvinylChloride)

Q - Vazão

R\$ - Reais

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SO_x – Óxidos de Enxofre

t/ano – Tonelada por ano

TRH – Tempo de retenção hidráulica

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket ou Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo

UB – Usina de Biogás

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 GERAL.....	18
2.2 ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 A AGROINDÚSTRIA NO BRASIL	19
3.2 SUINOCULTURA E MEIO AMBIENTE.....	21
3.2.1 Características da Suinocultura	22
3.2.1.1 Sistemas de criação.....	22
3.2.1.2 Fases de desenvolvimento do suíno.....	22
3.2.2 Suinocultura, Resíduos e Impactos Ambientais	23
3.3 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	25
3.4 BIODIGESTOR	27
3.5 BIOGÁS – USO E GERAÇÃO DE ENERGIA.....	31
3.5.1 Tecnologias de Conversão.....	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 AREA DE ESTUDO	35
4.1.1 Caracterização Técnica da área de estudo	36
4.2 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR	37
4.3 ESTUDO DA VIABILIDADE.....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 LIMITES FÍSICOS DA AGROINDÚSTRIA.....	42
5.1.1 Aspectos Fisiográficos e Econômicos	42
5.1.2 Caracterização das Atividades Produtivas.....	46
5.1.3 Caracterização e Quantificação dos Resíduos	48
5.1.4 Caracterização da Demanda Energética	50
5.2 DIMENSIONAMENTOS DA USINA DE BIOGÁS	51
5.2.1 Área de Implantação.....	51
5.2.2 Biodigestor	52
5.2.3 Unidade de Mistura de Efluente e Caixa de Saída	54
5.2.4 Estimativa de Produção de Biogás	55

5.2.5 Tubulações.....	56
5.2.5.1 Para Líquidos.....	56
5.2.5.2 Para Gases	57
5.2.6 Filtragem do Biogás	57
5.2.7 Sistema de Drenagem	58
5.2.8 Instalação da Usina de Biogás	59
5.2.9 Operação e Monitoramento da Usina	61
5.2.10 Equipamentos Adicionais	62
5.2.11 Equipamentos para Conversão em Energia Elétrica.....	63
5.2.11.1 Estimativa da geração	63
5.2.11.2 Conjunto Motor-Gerador.....	63
5.2.12 Geração de Energia Elétrica	66
5.2.13 Geração de Energia Térmica	67
5.3 ESTUDO DA VIABILIDADE.....	68
5.3.1 Custos de Instalação	68
5.3.2 Custos de Manutenção.....	69
5.3.3 Análise Econômica	70
6 CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE A	Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE B.....	Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE C	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

As relações que os homens estabelecem com a natureza sempre foram distintas para cada sociedade e também para cada período histórico. Segundo Rappaport (1982) "a natureza é vista pelos homens através de uma tela composta de crenças, conhecimentos e intenções, e os homens agem a partir de suas imagens culturais da natureza, e não a partir da estrutura real da natureza". Neste sentido, pode ser afirmado que a diversidade das culturas entre os homens expressa, de modo particular, suas relações com a natureza. A percepção da exterioridade do homem em relação à natureza, o fez querer dominá-la, controlar suas forças e explorar suas potencialidades para atender as suas necessidades. Estas expressões vêm ocasionando sérias transformações a este sistema, levantando ao desequilíbrio ambiental, resultando impacto irreversível para o homem e ao meio ambiente (ABREU; CANDEIA, 2014).

Um dos principais desafios encarados pela sociedade moderna é a promoção da gestão adequada dos resíduos e efluentes gerados nos processos produtivos, e até mesmo os domésticos. Quando não tratados de forma adequada se tornam uma relevante fonte de contaminação dos fatores ambientais, a exemplo dejetos de animais oriundos de pocilgas, matadouros entre outros, compostos por materiais orgânicos. E, portanto, são lançados ao meio ambiente contaminando solo e corpos hídricos, além da proliferação de vetores e doenças, geração de maus odores e emissão de gases causadores do efeito estufa (FEAM, 2015).

A crescente preocupação com o meio ambiente tem levado as nações a exercerem uma política ambiental cada vez mais efetiva e abrangente, visando responder as novas necessidades. Paralelamente a essas exigências ambientais, desenvolveu-se um mercado eficiente de geração energética através do uso de resíduos orgânicos provenientes de diversas fontes, como indústria de alimentos, criação de animais, lixo urbano e agricultura (JACOB; BANERJEE, 2016).

Pesquisas vêm se concentrando no desenvolvimento ou reaproveitamento de insumos, e a biomassa tem ganhado destaque em razão da sua natureza renovável, ampla disponibilidade, biodegradabilidade e baixo custo (LEUNG, WU, LEUNG, 2010). O aproveitamento dos resíduos agroindustriais propõe agregar valor a cadeia produtiva e reduzir os impactos ambientais negativos.

A biodigestão anaeróbia é um processo com ampla aplicabilidade para a conversão de resíduos e efluentes orgânicos em biogás e biofertilizante, associando o tratamento

adequado à geração de energia renovável (ORRICO JUNIOR, 2011). A implantação de uma usina de biogás fecha o ciclo de produção e consumo, promovendo retorno dos resíduos e efluentes orgânicos a essa cadeia produtiva, incrementando significativamente a sustentabilidade dos processos industriais. Além de promover a adequação ambiental da mesma, ampliando a produção de energia com base em fontes renováveis e a eficiência energética (FEAM, 2015).

As atividades das agroindústrias de processamento de produtos de origem animal, como laticínios, suinocultura de corte são geradoras de dejetos, com elevada carga orgânica, altamente poluente, sendo responsável pela disseminação de patógenos, pela contaminação de rios, de lençóis subterrâneos e de solos, além de produzir odores desagradáveis e emitir gases de efeito estufa. No entanto, o elevado valor de matéria orgânica, que expressa à carga poluidora, reflete o potencial energético desses dejetos utilizados como matéria-prima na geração de biogás, por meio da tecnologia dos biodigestores, que, quando bem empregada, proporciona a produção de energia limpa e promove a conservação do meio ambiente (DIAS et. al, 2013).

Os impactos da suinocultura sobre os recursos ambientais, principalmente sobre o solo e a água são imensos, na medida em que as práticas produtivas tradicionais têm negligenciado a aplicação de medidas de conservação ambiental que a atividade requer. Sendo assim, a preocupação com a poluição provocada pelo manejo inadequado dos dejetos suínos cresce constantemente, quer seja por uma maior consciência ambiental dos produtores, quer seja pelo aumento das exigências dos órgãos fiscalizadores e da sociedade em geral (DIESEL, MIRANDA, PERDOMO, 2002).

As atividades da suinocultura desenvolvidas no sertão paraibano, e em especial no município de Pombal-PB, apresentam grande influência na alimentação e economia local. No entanto, produzem significativos volumes de resíduos orgânicos sem uma destinação adequada. Logo, há necessidade de propor alternativas que permitam reduzir os impactos negativos ocasionados, e que venham a contribuir com a gestão segura desses resíduos e o controle da contaminação ambiental, adotando o uso de biodigestores nos sistemas de produção animal. Tal técnica é considerada uma ferramenta importante, por promover o tratamento dos resíduos orgânicos, convertendo-os em biogás (bioenergia) e o biofertilizante (adubo orgânico).

Nesta ótica, a proposta visa estudar a viabilidade técnica e econômica de uma implantação de Usina de Biogás (UB) em uma Agroindústria Rural no Município de Pombal-PB, com o intuito de promover benefícios para o produtor local e região, de modo sustentável.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Estudar a viabilidade técnica e econômica para implantação de uma Usina de Biogás em uma Agroindústria do Sertão Paraibano, com vistas na geração de energia.

2.2 ESPECÍFICOS

- Obter dados sobre a Agroindústria e seu espaço geográfico por meio dos seus aspectos fisiográficos e econômicos.
- Elencar os tipos de resíduos orgânicos gerados e estimar o volume diário produzido pela agroindústria;
- Estabelecer o modelo de biodigestor mais adequado com o empreendimento, considerando os fatores técnicos da instalação até a produção estimada de energia;
- Dimensionar a Usina de biogás determinando os procedimentos de instalação, operação e o orçamento da mesma.
- Verificar a viabilidade econômica do empreendimento através do estudo do período de retorno do investimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A AGROINDÚSTRIA NO BRASIL

Atualmente, tem-se argumentado muito sobre as possíveis transformações do sistema agroalimentar e da agregação de valor aos produtos agropecuários. Tais transformações vêm sendo motivadas por questões ambientais, tecnologia e a necessidade de agregação de valor aos produtos dentro dos mercados internos e externos (IPEA, 2013). A revalorização dos produtos locais e especialidades, a pujante importância social e econômica das atividades rurais não agrícolas, a crise dos processos de modernização da agricultura, consumidores mais exigentes, o retorno dos habitantes urbanos ao espaço rural, entre outros fatores, estão diretamente ligadas a estas transformações. A agroindústria rural pode ser situada dentro de um movimento que alguns autores, como Marsden et al. (1992), chamam de processo de “reestruturação dos espaços rurais”

O que vem a ser Agroindústria? Existem muitas caracterizações diferentes do termo acima, as definições segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, (2006) e do próprio dicionário Aurélio (FERREIRA, 2010) referem-se à agroindústria de modo geral como atividade econômica transformadora da agricultura no meio rural.

“Agroindústria rural se refere às atividades de transformação e beneficiamento de produtos agropecuários de origem animal ou vegetal, que foram realizadas em instalações próprias, comunitárias ou de terceiros, a partir de matéria-prima produzida no próprio estabelecimento agropecuário ou adquirida de outros produtores, desde que a destinação final do produto tivesse sido dada pelo produtor” (IBGE, 2006, p. 31).

“1. A indústria nas suas relações com a agricultura. 2. atividade econômica da industrialização do produto agrícola” (FERREIRA, 2010).

Para se conhecer mais sobre agroindústria é imprescindível observar as suas principais variáveis, o Quadro 1 abaixo sistematiza algumas delas tais como: propriedade, gestão, mão-de-obra, tecnologia, matéria prima, escala.

Quadro 1. Elementos que compõe o conceito de Agroindústria

Vetores de Desenvolvimento	Descrição da variável	Consequência
Propriedade	Dos Próprios agricultores – produzem a matéria prima e a industrializam.	Verticalização da produção
Gestão	Por agricultores de forma individual ou associativa	Necessidade de Capacidade e assessoria técnica
Mão de Obra	Das famílias envolvidas	Geração de Emprego
Tecnologia	Nível de sofisticação dos equipamentos utilizados, geralmente, não é muito elevado, com baixo nível de automatização	Necessidade de desenvolver novas tecnologias e de equipamentos industriais com uma certa miniaturização, que favorecem também as pequenas agroindústrias
Matéria Prima	Produzidas pelos agricultores ou comprada nas vizinhanças	Baixo custo de transporte e maior qualidade
Escala de Produção	Compatível com o número de pessoas que trabalham, ao tamanho dos equipamentos e das instalações e ao nível tecnológico adotado.	O limite pode ser estabelecido pelo somatório de produção por sócio, desde que não ultrapasse a cinco vezes a produção individual prevista.

Fonte: Adaptado de GUANZIROLI, 2010.

No Brasil, o Ministério do Desenvolvimento Agrário, MDA, criou o Programa da Agroindústria que apoia a inclusão dos agricultores familiares no processo de agroindustrialização e comercialização da sua produção, de modo a agregar valor, gerar renda e oportunidades de trabalho no meio rural, garantindo a melhoria das condições de vida das populações beneficiadas direta e indiretamente pelo Programa.

As agroindústrias no Brasil estão submetidas a legislações tributárias, a legislação ambiental, através da resolução CONAMA nº 385/2006 que regulamenta o registro ambiental de pequenas agroindústrias, além das legislações sanitárias por meio de decretos e instruções normativas de inspeção, devendo todas que quiserem inserir seus produtos no mercado, possuírem o “Selo de Inspeção”, comprovando a segurança e qualidade do produto.

Segundo dados da Confederação Nacional de Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) e do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) o PIB da Agroindústria registrou alta de 2,28 % no primeiro semestre de 2016, em comparação com o mesmo período de 2015, principalmente, devido à indústria de processamento vegetal, que teve aumento de preços no semestre. Os serviços, que incluem a comercialização e distribuição de produtos primários e agroindustriais, também tiveram alta de 2,27 %. Tais valores revelam a tamanha influência desses espaços produtivos rurais na economia do país, reconfigurando as regiões rurais do nosso espaço geográfico em verdadeiros recantos de uma economia pautada no desenvolvimento, no bem estar e na valorização da família e do campo. (EXAME, 2016)

3.2 SUINOCULTURA E MEIO AMBIENTE

A agricultura sofreu profundas transformações após a Segunda Guerra Mundial, caracterizadas por vários fatores dentre eles, a padronização e intensificação do processo produtivo e dos produtos, compondo a base da Revolução Verde, em que favoreceu o potencial genético de plantas e animais conforme abordado por Koziowski e Ciocca (2000).

Atualmente, a carne suína é a fonte de proteína animal mais produzida e consumida no mundo, sendo o Brasil o quarto maior produtor mundial. A suinocultura brasileira vem sendo marcada por altos e baixos nos últimos anos, mas é fato que tem conquistado seu espaço no cenário mundial e nacional (CNA, 2015).

A princípio a criação de suínos no Brasil era voltada especialmente para a produção de banha, muito utilizada no preparo e na conservação de alimentos. O salto na produção de carne suína se deu mesmo a partir da década de 60, com a adoção do sistema intensivo de criação. Aos poucos, o foco foi se voltando para a produção de carnes, especialmente quando os óleos vegetais foram ganhando espaço na elaboração de alimentos e a refrigeração passou a substituir a banha na conservação (CNA, 2015)

A suinocultura é uma das atividades mais importantes do complexo agropecuário brasileiro (DUDA; OLIVEIRA, 2011; RODRIGUES et al., 2010). O trabalho integrado entre os elos da cadeia de produção da suinocultura trouxeram resultados acima da expectativa em 2015. A produção brasileira de carne suína atingida em 2015 foi de 3,643 milhões de toneladas, volume 4,9% superior ao registrado no mesmo período de 2014, que foi de 3,471 milhões de toneladas. O consumo per capita do Brasil chegou em 2015, pela primeira vez na história, a 15 quilos, índice 2,7% superior em relação ao registrado em 2014, segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal, ABPA (2015).

A estimativa da Organização das Nações Unidas, (ONU) para Alimentação e a Agricultura (FAO) até 2024, e que, a suinocultura brasileira crescerá 21%, tanto em produção como no consumo interno e nas exportações, atingindo no referido ano uma produção de 4,3 milhões de toneladas (CANAL RURAL, 2016).

Nas últimas décadas, a suinocultura tem sofrido grandes transformações com a migração do modelo de produção para os sistemas intensivos, os quais concentram os rebanhos em unidades confinadas (HIGARASHI; KUNZ; MATTEI, 2008; RODRIGUES et al., 2010). Nesse contexto, a inserção da indústria no processo produtivo da atividade suinícola contribuiu para o melhoramento genético dos animais e conseqüente tecnificação do

sistema de manejo, empregando-se altas tecnologias nas áreas de nutrição, instalações, sanidade e ampliação da escala de produção (CABRAL et al., 2011; CALDARA et al., 2012).

Dessa forma, conforme relataram Barreto e Campos (2009) e Campos et al. (2012), esses sistemas confinados de produção constituem a base da expansão e da maior produtividade da suinocultura.

3.2.1 Características da suinocultura

Segundo estudos de SILVA (2015), a caracterização da suinocultura está nos sistemas de criação e de produção, e da fase de desenvolvimento dos suínos, como seguem:

3.2.1.1 Sistemas de criação

O sistema de criação de suínos divide-se em três tipos: criação extensiva, sistema de confinamento e criação ao ar livre:

a) Criação Extensiva: É a manutenção permanente dos animais no campo, durante todo o processo produtivo, sem a utilização de qualquer instalação.

b) Sistema de criação em confinamento: Realizada em instalações em todas as fases produtivas, onde o animal é nutrido diariamente com alimentação específica. É o modo mais utilizado para produção comercial da carne suína no mercado atual.

c) Criação ao ar livre: os animais são mantidos em piquetes nas fases de reprodução, maternidade e creche. Durante as fases de crescimento e terminação ficam em confinamento.

A partir do sistema de criação, dividem-se em três sistemas diferentes de produção utilizados pelos suinocultores (FAEP, 2010):

a) Ciclo Completo (CC): os suinocultores criam desde a cobertura até o abate dos animais;

b) Unidade Produtora de Leitões (UPL): criação de animais até aproximadamente 23 kg;

c) Unidade Produtora de Terminação (UPT): recebem os leitões das UPL e conduzem até a idade de abate.

3.2.1.2 Fases de desenvolvimento do suíno

No sistema confinado, essa criação é dividida basicamente em quatro fases: gestação, maternidade, creche e terminação (TRICHES, 2003):

a) Gestação: a gestação média de suínos é de 114 dias. A gestação também abriga as matrizes em retorno do cio, as leitoas de reposição de plantel e os machos.

b) Maternidade: fase onde as matrizes ficam uma semana antes do parto até o desmame dos leitões, que ocorre entre 21 e 28 dias de idade;

c) Creche: fase que vai do desmame dos leitões até atingirem 25 - 30 kg (60 - 70 dias de idade);

d) Terminação: compreende a fase que vai da creche (25 - 30 kg) até o abate (100 - 110 kg com idade em torno de 150 - 160 dias).

3.2.2 Suinocultura, Resíduos e Impactos Ambientais

O aumento no nível dos confinamentos resultou maior produtividade na suinocultura. Porém nos últimos anos, os atuais moldes desta atividade têm despertado a preocupação ambiental da sociedade, em virtude do grande impacto causado aos recursos naturais pelo manejo inadequado dos resíduos. A consequência dessa atividade, considerada até certo ponto predatória, pode resultar na exaustão de muitos recursos naturais e na necessidade de repensar o desenvolvimento dos modelos adotados (KUNZ et al., 2009).

Os suínos produzem diariamente quantidades diferentes de resíduos, quando em distintas fases de produção, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Produção diária de dejetos suínos

Fases de Produção	Esterco kg/dia	Esterco+Urina kg/dia	Dejetos Líquidos L/dia	Produção Dejetos Líquidos m ³ /animal/mês
25-100 kg	2,3	4,9	7,0	0,25
Matriz	3,6	11,0	16,0	0,48
Matriz lactante	6,4	18,0	27,0	0,81
Macho	3,0	6,0	9,0	0,28
Leitão em creche	0,35	0,95	1,40	0,05

Fonte: OLIVEIRA, 1993.

Tais dejetos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório, acarretam sérios prejuízos ambientais, devido à elevada capacidade de seus poluentes (OLIVEIRA, 1993). E, que segundo Orrico Junior (2011), possuem elevada carga de matéria orgânica, coliformes totais e fecais, quantidades elevadas de macronutrientes,

especialmente nitrogênio, potássio e fósforo, bem como, excesso de água na higienização das instalações, redução dos níveis de oxigênio dissolvido, acarretando morte de peixes e de outros microrganismos, entre outros.

Sabe-se que os principais gases emitidos pelos sistemas de criação de suínos, incluindo a fase produtiva dos animais e a geração, manejo e utilização dos dejetos, são dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O) e o nitrogênio (N_2), considerados promotores do efeito estufa (OLIVEIRA, HIGARASHI, NUNES, 2003).

Segundo Konzen (2005), os dejetos oriundos da agropecuária são responsáveis por 20% das emissões de gases poluentes na atmosfera, sendo um número altamente significativo, quando comparado às indústrias, que representam 32% dos emissores. No Brasil, todos os dias, quase 90 milhões de t/ano e 32 milhões de t/ano de excrementos são produzidos, respectivamente por rebanhos bovinos e suínos, resultando numa quantidade elevadíssima de carga poluidora, conforme dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA, (2012).

O potencial poluidor da criação de suínos em sistemas de confinamento é agravado devido o lançamento de grandes volumes de resíduos em pequenas áreas, concentrando nestes espaços um efluente sem proteção e tratamento rico em sólidos em suspensão e dissolvidos, matéria orgânica, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na), magnésio (Mg), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), agentes patogênicos, metais pesados e sais diversos (RICARDO, 2012).

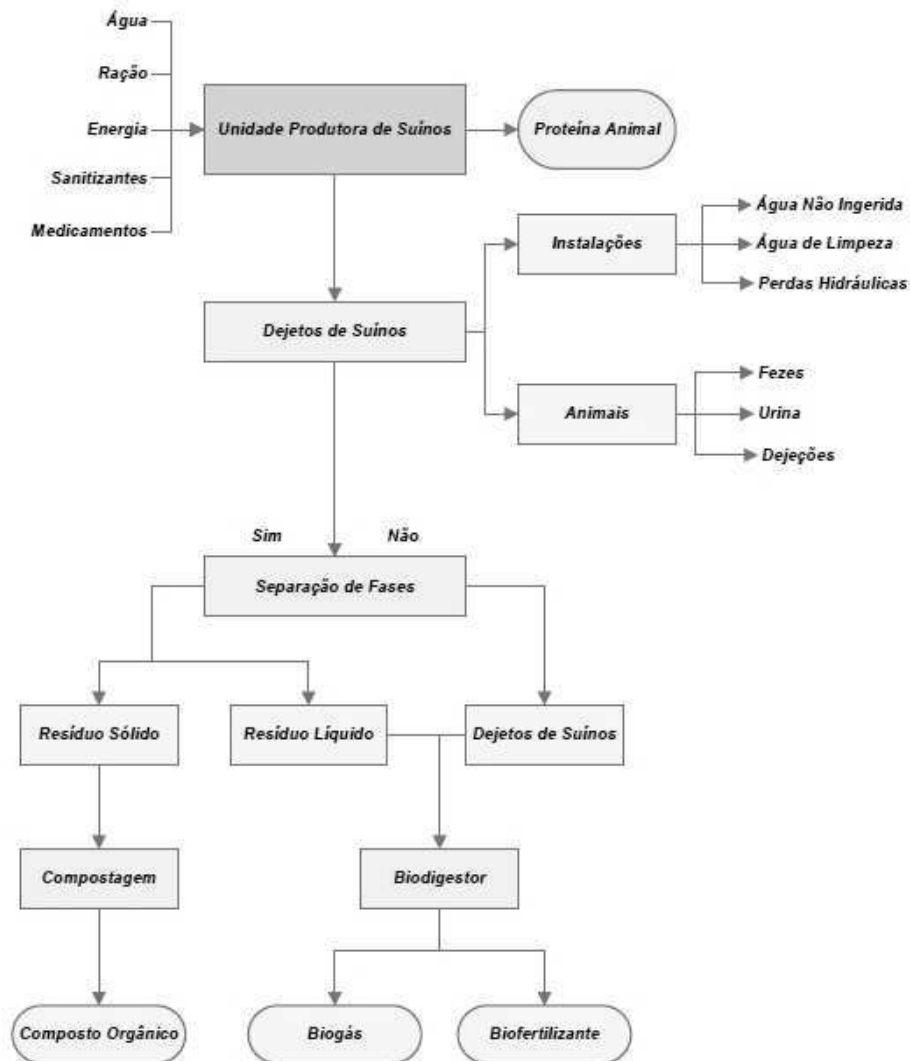
O acondicionamento dos resíduos em lagoas ou tanques e sua aplicação como fertilizante e condicionador do solo são comumente adotados por grande parte dos suinocultores no Brasil. Em regiões onde o volume de efluente gerado é alto, superando as capacidades de uso do mesmo, demanda-se o tratamento do mesmo ou exportação das águas residuárias para áreas mais distantes da produção (KUNZ et al., 2009).

Dessa forma, o desafio para os produtores de suínos é alcançar a sustentabilidade ambiental nas regiões de produção intensiva, encontrando um equilíbrio entre a atividade e os fatores ambientais, de forma a aumentar a produtividade e sem promover impactos negativos ao meio ambiente (RICARDO, 2012).

3.3 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

A Figura 1 expõem, ilustrativamente, as possibilidades existentes para o manejo de resíduos (FERNANDES, 2012).

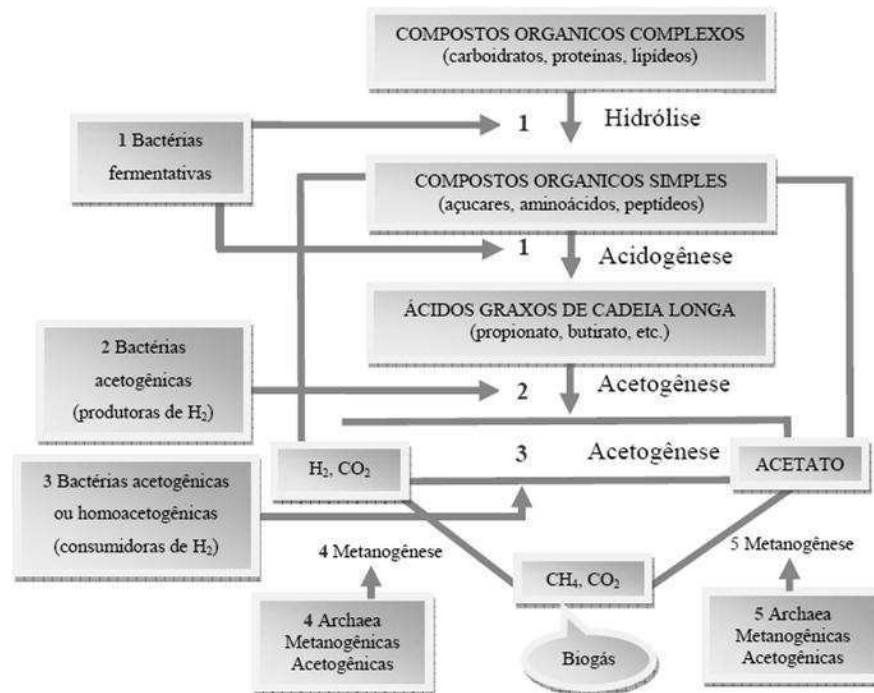
Figura 1. Sistema de manejo de resíduos de suínos



Fonte: Fernandes (2012).

A biodigestão anaeróbia é um processo no qual a biomassa residual é degradada, por meio de uma série de reações bioquímicas realizadas, simbioticamente, por bactérias, na ausência de oxigênio, onde compostos orgânicos complexos são reduzidos em componentes mais simples (VELOSO, 2014). Este processo anaeróbio é subdividido em quatro fases, conforme apresentado na Figura 2 (LUCAS JUNIOR, 2009). Em cada fase prevalece o trabalho de determinado tipo de bactéria; no entanto essa prevalência não é absoluta, o que torna as inter-relações complexas.

Figura 2. Rota Metabólica da biodigestão anaeróbica



Fonte: Lucas Júnior (2009)

- (1) Hidrólise: através das enzimas, as bactérias fermentativas hidrolíticas, os materiais particulados complexos (polímeros) são assimilados e ocorre a hidrólise dos materiais dissolvidos em substâncias mais simples (moléculas menores);
- (2) Acidogênese: os produtos solúveis oriundos da primeira fase da hidrólise são metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas, que convertem os compostos entre outros em ácidos graxos, voláteis, alcóois, ácido láctico, dióxido de carbono, gás hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio;
- (3) Acetogênese: os principais produtos da fase acidogênica são oxidados pelas bactérias acetogênicas, gerando compostos assimiláveis pelas bactérias acetogênicas, entre eles o gás hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato;
- (4) Metanogênese: a etapa final transforma os compostos em metano e dióxido de carbono. Os compostos orgânicos como ácido acético, gás hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metano, metilamida e monóxido de carbono são convertidos pelas bactérias metanogênicas, que podem ser acetoclásticas ou hidrogênionicas, conforme sua afinidade de assimilação.

As interações entre os diversos grupos de bactérias participantes da decomposição anaeróbica tem múltiplas variáveis, que vão desde a dependência comensal entre elas até variáveis externas como temperatura e pH do meio, por exemplo. No contexto interno do meio biológico, em cada uma das fases existe a produção de subprodutos necessários ao

trabalho das bactérias de outra fase. A interação comensal entre as bactérias pode até mesmo ser inibida por uma superpopulação de bactérias em uma das fases da biodigestão anaeróbia.

Pelo exposto, evidencia-se que a biodigestão anaeróbia se mostra um processo complexo e é influenciada por muitos fatores. Esses fatores incluem a especificidade das águas residuárias, tempo de retenção hidráulica, concentração orgânica afluyente, taxa de carga orgânica, temperatura, pH, exigências nutricionais, relação carbono/nitrogênio (C:N), dentre outros (RICARDO 2012).

O processo de biodigestão anaeróbia geram benefícios agrícolas e ambientais, a saber (ORRICO JUNIOR, 2011; JACOB; BANERJEE, 2016):

- Contribui para o saneamento rural, pois a degradação da matéria orgânica contida nos resíduos permite a redução das demandas química e bioquímica de oxigênio (DBO e DQO), de sólidos (totais e voláteis) e de patógenos;
- A matéria orgânica oriunda da atividade suinícola é estabilizada, produzindo-se energia renovável na forma de biogás, além do biofertilizante, que poderá ser utilizado na agricultura;
- Ocorre a redução das emissões de gases de efeito estufa, pois, o metano e outros gases de efeito estufa serão emitidos para a atmosfera;
- Abre oportunidade para comercialização dos chamados créditos de carbono, por meio dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), de modo a proporcionar melhores condições ambientais, as quais poderão implicar num desenvolvimento econômico e social sustentável.

3.4 BIODIGESTOR

Os biodigestores são estruturas físicas, que facilitam a digestão anaeróbia proporcionando um ambiente anaeróbio favorável aos microrganismos responsáveis por esta digestão. Compostos basicamente por duas partes: uma câmara de fermentação para abrigar e permitir a digestão da biomassa e o gasômetro que armazena o biogás gerado. Vários modelos têm sido desenvolvidos e adaptados, buscando a estabilização de resíduos, visando tanto aumentar a eficiência, e promover à redução de custos de implantação (GARFI et. al, 2016).

No entanto, o uso desta tecnologia ainda enfrenta algumas limitações, por parte dos usuários, em virtude da compreensão sobre os aspectos microbiológicos, que são vitais ao

bom funcionamento do conjunto, e nem sempre são compreendidos, acarretando perda da eficiência no biodigestor (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Em todo o mundo, a construção dessas estruturas varia em função de sua complexidade, dos materiais de construção utilizados e dos custos. De acordo com o sistema de alimentação, os biodigestores são de fluxo contínuo ou de batelada. Os biodigestores do tipo batelada são alimentados de uma só vez e são indicados para resíduos produzidos em certos intervalos de tempo. Por outro lado, os biodigestores de fluxo contínuo, onde se podem identificar, principalmente, os modelos indiano, chinês e canadense, prestam-se àqueles resíduos que são produzidos diariamente (FLORENTINO, 2003).

Os biodigestores podem ser classificados, segundo Cortez et al. (2008), de acordo com o tipo de reação e com as características hidráulicas. Existem diversos tipos de reatores anaeróbios ou biodigestores, cada um com suas particularidades, vantagens e desvantagens, sendo os mais utilizados os seguintes modelos:

a) Modelo Indiano (Figura 3): esse modelo é caracterizado por possuir uma cúpula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, e possui uma parede central que divide o tanque permitindo que o material circule por toda a câmara de fermentação (DEGANUTTI et al., 2002).

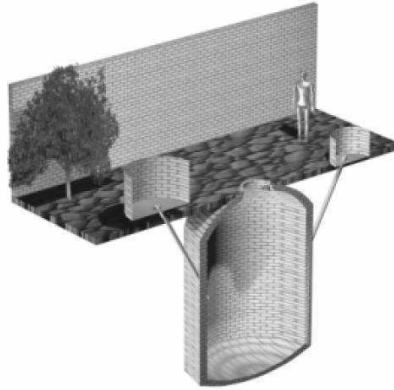
Figura 3. Estrutura de um biodigestor do tipo Indiano



Fonte: DEGANUTTI et al., 2002

b) Modelo Chinês (Figura 4): é construído todo em alvenaria, e possui uma cúpula fixa de alvenaria onde é armazenado o biogás, com a pressão regulada por uma válvula de coluna d'água (BARREIRA, 2011).

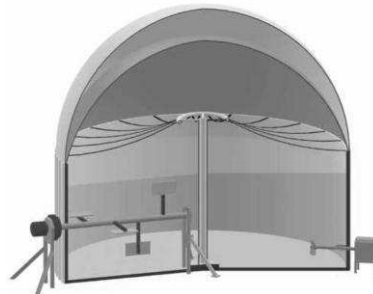
Figura 4. Estrutura de um biodigestor do tipo Chinês



Fonte: DEGANUTTI et al., 2002

c) Reator CSTR (Figura 5): o reator Continuous Stirred Tank Reactor ou Reator Contínuo de Mistura Completa é representado por um reservatório cilíndrico em posição vertical, com vedação hermética, sendo constituído por um fundo de concreto e paredes em material variável (aço carbono com proteção contra corrosão, aço inox, aço vitrificado ou concreto armado). Sua estrutura pode ser completamente posicionada sobre o solo, parcialmente ou completamente enterrada. A parte superior do reservatório é constituída por uma cobertura impermeável, que deve garantir as condições de estanqueidade do sistema e atender aos requisitos de pressão estabelecidos, sendo mais comum a adoção de tetos de membranas e de concreto (FNR, 2010).

Figura 5. Estrutura de um reator CSTR

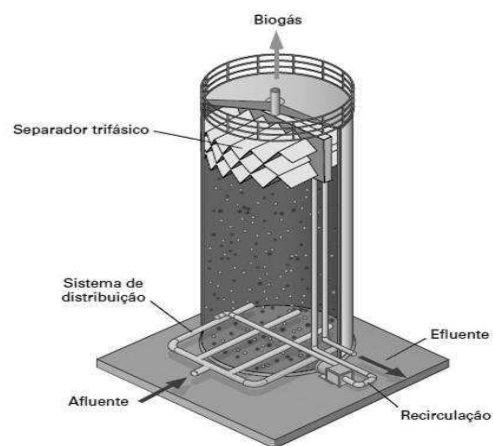


Fonte: FEAM, 2015

d) Reatores UASB (Figura 6): os reatores Up flow Anaerobic Sludge Blanket (Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo) se baseiam no princípio da passagem do efluente por um leite de lodo (bactérias) no sentido ascendente. A introdução do efluente é

realizada pela base do reator, ocorrendo geralmente em diversos pontos, de modo a promover um fluxo ascensional homogêneo em toda a seção transversal do reator. Logo acima do ponto de introdução do efluente se forma um filtro biologicamente ativo, composto por grânulos com alta densidade microbiana, os quais garantem elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica. Na parte superior do reator é instalado um separador trifásico, o qual além de coletar o biogás gerado, funciona como um sedimentador, promovendo a separação das fases sólida e líquida, de modo a garantir uma maior retenção da biomassa no interior do reator (FNR, 2010).

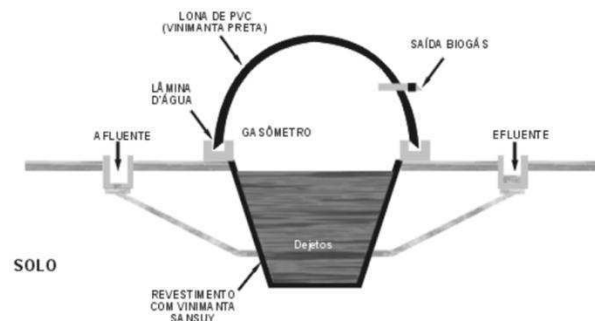
Figura 6. Estrutura de um reator UASB



Fonte: FEAM, 2015

e) Modelo Canadense (Figura 7): consiste estruturalmente em lagoas escavada no solo em formato de tronco de pirâmide invertida, com revestimento completo da base e das paredes por uma camada de geomembrana, constituída de policloreto de vinil (PVC) ou de polietileno de alta densidade (PEAD). A cobertura da lagoa também é realizada com aplicação de uma geomembrana, a qual pode ser confeccionada com os mesmos materiais, ou ainda em borracha de etileno-propileno-dieno, EPDM (FNR, 2010).

Figura 7. Estrutura de um biodigestor tipo Canadense



Fonte: Winrock, 2008.

3.5 BIOGÁS – USO E GERAÇÃO DE ENERGIA

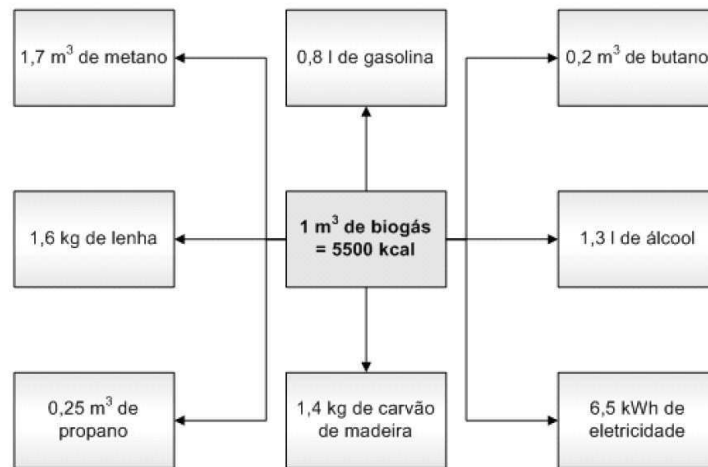
O biogás produzido nos biodigestores por meio da biodigestão anaeróbia consiste de uma mistura de metano, dióxido de carbono, traços de vapor de água, sulfeto de hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, hidrogênio, monóxido de carbono, amônia, mercaptanas, dentre outros (PRADO; CAMPOS; SILVA, 2010). A Tabela 2 expõe a composição do biogás, segundo diversos autores.

Tabela 2. Composição do biogás segundo a literatura

Parâmetros	Autores				
	Oliveira e Hiragashi (2006)	Gusmão (2008)	Miranda et. Al (2008)	Dal Mago (2009)	ITAI (2012)
Metano (CH ₄)	69%	50 - 70%	64 - 67%	23 - 70%	60 - 67%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	-	26 - 52%	-	39 - 75%	31 - 38%
Oxigênio (O ₂)	-	0,23 - 0,97%	-	0,43 - 1,99%	0,3 - 1,2%
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	-	> 0,1%	-	> 0,1	0,08 - 0,4%
Gás hidrogênio (H ₂)	-	-	-	-	1.700 - 1800 ppm

O metano e o dióxido de carbono perfazem a maior parte da composição do biogás e, em geral, são produzidos numa taxa de dois para um, respectivamente, ou seja, ao se produzir duas moléculas de metano, tem-se a produção de uma molécula de dióxido de carbono. O metano é formado por descarboxilação do acetato, metanização de dióxido de carbono e gás hidrogênio por microrganismos acetogenotróficos e hidrogenotróficos (VELOSO, 2014).

Os fatores que mais influenciam a variação das concentrações de metano no biogás são: temperatura, pH, acidez, alcalinidade, vazão e cargas orgânicas aplicadas, além da própria característica do resíduo, que é o substrato para o crescimento dos microrganismos nos biodigestores. Portanto, a eficiência da produção de metano depende do monitoramento sistemático desses parâmetros (PRADO; CAMPOS; SILVA, 2010). A equivalência energética do biogás é de aproximadamente 60% de metano quando comparado com outros combustíveis, Figura 8.

Figura 8. Equivalência energética do biogás com outros combustíveis

Fonte: Souza, 2016

Embora apresente vários benefícios, o metano, CH₄, por ser inflamável e explosivo, requer extremo cuidado no seu manejo. O CH₄ possui um potencial poluidor 21 vezes maior do que o CO₂, sendo este, portanto, o mais influente nos aspectos relativos ao aquecimento ambiental (ANGONESE; CAMPOS; WELTER, 2007).

O biogás pode ser considerado como uma fonte flexível e estratégica de energia, podendo se tornar um agente muito importante na ampliação da geração de energia elétrica, térmica e veicular, substituir o gás natural que é derivado do petróleo.

O uso do biogás demanda seu condicionamento prévio em função da utilização pretendida, o qual visa à remoção de componentes que podem prejudicar os componentes mecânicos e metálicos dos sistemas de aproveitamento energético (CHP, caldeira, etc.). A seleção da tecnologia de limpeza e condicionamento do biogás deve ter, como principal critério de análise, a composição do biogás e a composição que se necessita para determinado uso, além de outras propriedades como presença de umidade, pressão, contaminantes, etc. (FRN, 2010)

Para a queima do biogás com objetivo de geração de calor, pode-se realizar apenas a remoção da umidade, enquanto para injeção na rede de gás natural faz-se necessário, além da remoção da umidade, a remoção de sulfeto de hidrogênio (H₂S) e de dióxido de carbono, CO₂ (FRN, 2010).

Em seu estudo sobre a análise econômica da geração de energia elétrica, com base no biogás da suinocultura, Martins e Oliveira (2011) alvitraram que, embora seja possível a comercialização, é mais vantajosa à utilização da eletricidade na propriedade rural, substituindo ou reduzindo a aquisição da energia elétrica distribuída pela concessionária.

Nos últimos anos com aumento do preço dos combustíveis fósseis, o biogás tem se tornado uma alternativa entre as energias renováveis, com cada dia mais países criando leis de energias renováveis que incentivam os agricultores à utilização de biodigestores anaeróbios (SILVA, 2015).

No Brasil, a Associação Brasileira de Biogás, ABIOGÁS (2015) traz o biogás ao cenário das energias renováveis estratégicas e elaborou a proposta do Programa Nacional do Biogás e do Biometano (PNBB). Segundo Cortez et al. (2008), a Agência Internacional de Energia (AIE) avalia que, dentro de aproximadamente 20 anos, em torno de 30% da energia total utilizada pela humanidade será originada de fontes renováveis.

3.5.1 Tecnologias de Conversão

De acordo com Bley et. al, (2009), a conversão da energia contida na biomassa pode utilizar-se de equipamentos, podendo ser: biodigestores (micro-organismos, preferencialmente para matéria-prima úmida) ou via equipamentos combustores (matéria-prima seca). Máquinas, motores e equipamentos estão sendo desenvolvidos e aprimorados para conversão/transformação de energia da biomassa (energia química) em sua forma original para usos finais, tais como: energia térmica (ex: calor de processo, climatização para conforto humano e animal, produção de vapor), energia mecânica (ex: potência para movimentação de máquinas e dispositivos) e energia elétrica (ex: eletricidade). Alguns tipos são:

(a) Conjunto Motor-Gerador: Os grupos geradores utilizados nesse processo são compostos por um motor à combustão acoplado a um gerador elétrico, também conhecido como Combined Heat and Power (CHP). As principais tecnologias de cogeração são motores de combustão interna (ciclo Otto) e bicomcombustível (ciclo diesel operando com biogás) e as microturbinas.

(b) Motores a gás de ciclo Otto: Esses motores foram desenvolvidos para queima exclusiva com combustíveis gasosos e, baseados no princípio de Otto, utilizam o excesso de ar para diminuir emissões de CO₂ e SO_x. Para queima de biogás, exige-se uma concentração mínima de metano de 45% e a vida útil desses motores varia entre 40 e 60 mil horas, dependendo fortemente das condições de trabalho e do plano de manutenção.

(c) Motores bicomustíveis (motores com ignição a compressão): Esses motores, utilizados em carros de reboque ou caminhões, funcionam pelo princípio dos motores a diesel e, para a operação com uma mistura de diesel e biogás, ou seja, para serem bicomustíveis, necessitam de adaptações. Esses motores também funcionam com excesso de ar e necessitam da injeção de diesel (correspondente a 2% a 10% da potência) na câmara de combustão para auxiliar na combustão e refrigerar os bicos de injeção (carbonização).

(d) Microturbinas: As microturbinas a biogás são uma tecnologia ainda pouco utilizada e possuem elevado custo de implantação. Entretanto, apresentam algumas vantagens em relação aos motores a gás e bicomustíveis, como menores níveis de emissões de gases e ruídos, requerimento de biogás com qualidade inferior, maior vida útil, além de baixos custos de operação e manutenção.

(e) Caldeiras de biogás (vapor e calor): As caldeiras apresentam-se como outra possibilidade de utilização do biogás para a produção de calor que ocorre por meio da queima em sistemas de aquecimento. Já existem queimadores e caldeiras, especificamente projetados para serem utilizados com biogás.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

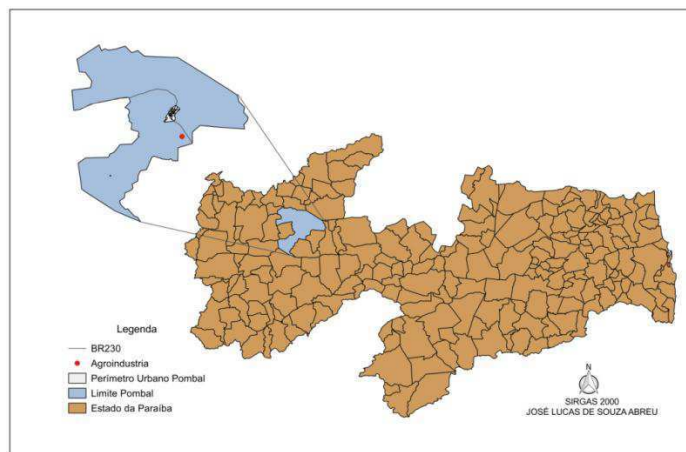
Para alcançar os objetivos propostos nesse projeto, foi primordialmente necessário à busca na literatura disponível, principalmente em manuais e livros como o Manual da Biodigestão (2008), o Manual do Biodigestor Sertanejo (2011) e o Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria (FEAM, 2015), além de monografias, dissertações, artigos científicos e trabalhos preliminares, já desenvolvidos na agroindústria por Abreu e Candeia (2014; 2016). Tais informações trouxeram execuções práticas e dados valiosos que permitiram descrever os caminhos para chegar aos resultados desta pesquisa.

A metodologia se resume em dois momentos, visitas técnicas e levantamento e manuseio dos dados obtidos sobre a dinâmica da agroindústria e seu espaço geográfico.

4.1 AREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida para a realidade de uma Agroindústria do município de Pombal, PB, conforme apresentado na Figura 9. Localizada no Sítio Pinhões, perímetro urbano do Município de Pombal, Estado da Paraíba. O centroide do imóvel está sobre a latitude 6,8238 ° Sul e longitude 37,7752 ° Oeste.

Figura 9. Localização da Agroindústria estudada



Fonte: O Autor, 2017

A propriedade é uma fazenda que abriga há 15 anos às atividades agroindustriais, laticínio e suinocultura, ambas de pequeno porte. Com a expansão dessas atividades, nos últimos anos, aumenta a geração de resíduos orgânicos, os quais são lançados *in natura*, impactando de forma negativa o meio ambiente local.

Os produtos desta agroindústria são comercializados tanto no município de Pombal, como em municípios circunvizinhos, cidades do Alto Sertão, da Borborema e até mesmo a Capital Paraibana. Além de algumas cidades do estado vizinho do Rio Grande do Norte.

4.1.1 Caracterização Técnica da área de estudo

Para coleta dos pontos de delimitação geográfica, no que se refere à área da agroindústria, contou-se com o auxílio do aparelho de navegação GSP Garmin 64S.

Para o melhor entendimento e compreensão do espaço geográfico que integra a referida agroindústria, foram colhidas informações fisiográficas e econômicas no município de Pombal, PB. Foram consultados o Diagnostico do Município de Pombal (CPRM, 2005), dados do IBGE de diferentes anos e do Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba (IDEME).

Para ilustração dos fatores ambientais propostos como declividade, topografia pelas curvas de nível, hidrografia e uso e ocupação do solo, além da planta de situação das instalações produtivas e habitacionais, dentro da propriedade, foi necessário a manipulação dos softwares de geoprocessamentos QGIS 2.14 e o Track Maker Profissional.

Todas as visitas técnicas contaram com a presença do proprietário da Agroindústria, visto que ao longo do período de estudo Novembro de 2016 a Março de 2017, orientou todos os dados necessários referentes aos componentes do processo produtivo, insumos utilizados, os custos mensais, a caracterização do rebanho suíno, o sistema de produção, de modo geral todo o dinamismo da agroindústria, que permitiram conhecer a sua realidade e então, adequar os objetivos deste trabalho.

A verificação dos gastos com energia elétrica a partir do histórico de consumo em kWh da propriedade foi fornecido pela concessionária de energia. E, os demais custos com utilização de energia térmica, como a lenha e o botijão de gás GLP, foram obtidos mediante planilha de gastos com o proprietário.

Para a estimativa o dimensionamento de um biodigestor referente à sua produção de biogás, que poderia ser gerado na agroindústria em estudo, estes dados foram mensurados, inicialmente, a partir das equivalências do biogás com os dejetos gerados advindos de pesquisas em literatura científica, conforme Quadro 2. Pode-se verificar nesta etapa, que a literatura diverge muito em relação a estes valores, o que conduziu a utilização da média aritmética como forma de aproximar todas as informações obtidas.

Quadro 2. Valores e métodos utilizados no dimensionamento

	Sganzerla (1983)	Oliveira (1993)	FMA-SC (2014)	Adotado Na Pesquisa
Volume de Resíduos Suíno gerado	Suíno adulto 2,25 kg/animal/dia (mais utilizado na literatura)	Quadro com produção diária de dejetos nas diferentes fases de produção	47,1 L/animal/dia	OLIVEIRA (1993)
	Oliveira (1993)	Souza e Campos (2004)/ Lucas Jr. (2009)	Farret (2010)	-
Volume de Biogás produzido	0,079 m ³ /kg/dia	0,089 m ³ /kg/dia	0,064 m ³ /kg/dia	Ø 0,08 m ³ /kg/dia
	Santos (2000)	Winrock (2008)	Souza (2016)	-
Equivalência 1 m³ Biogás-kW	6,5 kW/m ³	5,5 kW/m ³	4,95 – 7,92 kW/m ³	Ø 6,44 kW/m ³
	Sganzeria (1983)	Santos (2000)	Barrera (2003)	-
Equivalência 1 m³ Biogás-Lenha	1,52 kg/m ³	1,60 kg/m ³	1,54 kg/m ³	Ø 1,55 kg/m ³
	Nobel (1986)	Barrera (2003)	Winrock (2008)	
Equivalência Biogás-Botijão GLP	30,2 m ³ equivale a 1 botijão	28,9 m ³ equivale a 1 botijão	33 m ³ equivale a 1 botijão	Ø 30,7 m ³ equivale a 1 botijão

Ø Média aritmética. Fonte: compilada pelo Autor, 2017

4.2 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

O dimensionamento da usina de biogás foi realizado a partir da escolha da área para implantação do biodigestor, onde se levou em consideração os fatores de topografia, localização, distribuição e custos com canalização, tanto dos resíduos gerados, como da produção estimada do biogás.

O tipo de biodigestor para ser implantado condizente com a realidade da agroindústria, foi estudado mediante as vantagens e desvantagens conhecidas na literatura científica que em sua maioria observou-se técnicas didáticas bem consolidadas para dimensionamento e instalação de biodigestores do tipo indiano e chinês, uma vez que, são mais indicados para serem implantados nos tratamentos de resíduos, com pequena demanda.

Além disso, estes tipos de biodigestores apresentam problemas com a eficiência do tratamento e até mesmo estruturais.

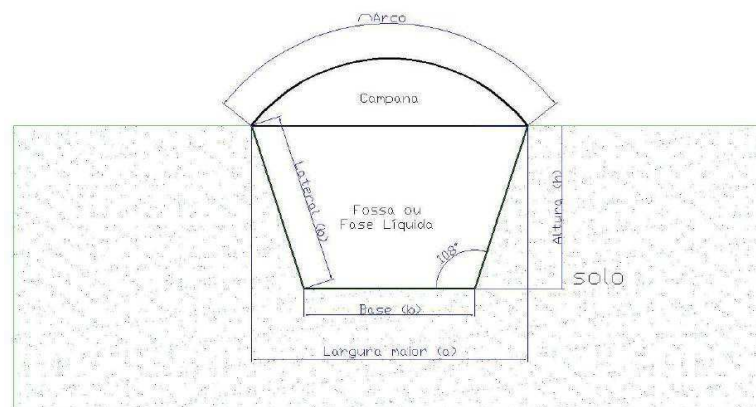
Outros estudos trazem sistemas de tratamento de efluentes suínos equivalentes a uma estação de tratamento de esgoto, formadas por seguidas unidades de separação e tratamento dos dejetos, em maior escala, o que foge da realidade rural do semiárido, tornando-se desinteressante.

Estudos mais recentes, como os realizados pela parceria Alemanha e Brasil através do Programa ProBiogás (2015) apresentam tecnologias avançadas de alto rendimento e custo muito utilizadas nos países europeus, entre elas o biodigestor CSTR, as Lagoas Otimizadas e o Reator UASB.

Outro tipo de biodigestor que vem sendo considerada uma tecnologia de biodigestão de baixo custo e de construção simples, construído basicamente de PVC (policloreto de vinila), em leito horizontal, é o modelo Canadense. Este é um dos mais difundido no mundo, na América Central e no Brasil, sendo amplamente utilizado em propriedades rurais. Porém uma desvantagem tem sido a durabilidade, visto que a lona plástica que o constitui tem vida útil curta, o que pode comprometer a estrutura do sistema quando não manejada de forma correta. No entanto possui grandes vantagens seja em sua concepção, instalação e até mesmo na sua manutenção, sendo este modelo o escolhido para ser dimensionado para a realidade da agroindústria em estudo.

Para o cálculo preciso das principais dimensões do biodigestor canadense, representado na Figura 10, foi aplicado o modelo matemático desenvolvido por Ribeiro (2011) que é baseado em estudos anteriores do mesmo autor na qual resultou na elaboração de diferentes tipos de biodigestores canadenses com fossas trapezoidais, levando em consideração proporção gás/fase líquida, se aplicando apenas para proporções de até 40%.

Figura 10. Componentes e variáveis do biodigestor canadense



Segundo Ribeiro (2011), os modelos foram testados por meio de regressões realizadas utilizando a ferramenta Excel 2007, e posteriormente, foram simuladas duzentas variações possíveis no AutoCAD 2009, concluindo que em aplicações reais o modelo é eficaz. As equações obtidas seguem apresentadas no Quadro 3, e as variáveis ilustradas na Figura 10 a cima.

Quadro 3. Equações do modelo para biodigestor canadense

Fórmula	Descrição
$P = C = 2r\pi$ (Eq. 1)	P = perímetro total transversal (campanula mais fossa) C = circunferência da bolsa plástica r = raio da bolsa plástica
$A \% = 0,621p^2 - 0,042p + 0,352$ (Eq. 2)	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco p = proporção da fase gasosa desejada ($p \leq 0,4$)
$b = (-1/3A \% + 1/3)P$ (Eq. 3)	b = lateral, base ou largura menor da fossa
$a = 1,618b$ (Eq. 4)	a = largura maior da fossa
$h = 0,951b$ (Eq. 5)	h = profundidade da fossa
$A_f = 0,4755(a+b)b$ (Eq. 6)	A_f = área transversal da fossa
$A_t = A_f / (1-p)$ (Eq. 7)	A_t = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campanula
$A_g = A_t - A_f$ (Eq. 8)	A_g = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás
$V_t = A_t L$ (Eq. 9)	V_t = volume total do biodigestor (campanula mais gás)
$V_f = A_f L$ (Eq. 10)	V_f = volume total da fossa
$V_g = A_g L$ (Eq. 11)	V_g = volume total do gás

Fonte: Ribeiro, 2011

Tais equações só podem ser utilizadas mediante seleção prévia dos parâmetros iniciais, comprimento (L), raio da bolsa (r) e a proporção de fase gasosa (p), que deve ser menor ou igual a 0,4. Esses parâmetros são escolhidos ou também determinados condicionados ao volume estimado do biodigestor, calculado pela Equação 12, abaixo:

$$V_b = TRH \times Q \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde V_b é o volume do biodigestor, TRH é o tempo de retenção hidráulica e Q a vazão diária de resíduos.

As demais estruturas físicas da usina como as caixas de entrada e saída também foram determinadas de acordo com a vazão diária de resíduos e com a vazão de saída

respectivamente. Quanto à vazão de saída, foi levado em consideração o armazenamento do biofertilizante por um curto período de tempo, o forçando a passar também por um breve tratamento aeróbio.

Outras estruturas físicas necessárias como tubulações, sistema de filtragem e drenagem do biogás foram definidos conforme proposta do Manual do Biodigestor Sertanejo (2011). Este manual, juntamente com o Manual da Biodigestão (2008) foi referência para as recomendações técnicas de instalação, operação e manutenção da usina de biogás, onde foram acrescentadas adequação necessária para a realidade da agroindústria em estudo.

A definição das tecnologias de conversão do biogás em energia elétrica e térmica para garantir com segurança a autonomia do processo produtivo e do uso doméstico, foi definida com base no trabalho de Junqueira (2014), onde se calculou a demanda da propriedade em kWh pelo levantamento dos equipamentos utilizados na pocilga e na residência da agroindústria, definido a potência nominal e máxima requerida, para então, determinar o conjunto motor-gerador necessária.

4.3 ESTUDO DA VIABILIDADE

Nesta etapa com metodologia própria de cálculos e orçamentos financeiros foram determinadas as premissas de instalação, manutenção, e por fim, a análise econômica do projeto.

Para os orçamentos foram tomados como base os preços de planilha orçamentária do relatório sintético de composições unitárias da construção civil (adaptado ao SINAPI) elaborado pelo Saneamento de Goiás S/A (SANEGO) no ano de 2015, e do Inventário Tecnológico de Sistemas de Tratamento de Dejetos de Suínos da Embrapa, 2003.

A análise econômica do projeto foi concebida através do cálculo do tempo de retorno do investimento e o cálculo do período de retorno descontado (PRD) (Equação 15) que determina o prazo necessário, em anos, para se recuperar o capital investido. Este cálculo leva em conta o investimento inicial (Inv. inicial, em R\$), a economia anual proporcionada pelo projeto (Econ./ano, em R\$/ano), o tempo de vida útil do empreendimento em anos (n), a taxa de desconto (d), o fator de recuperação do capital (FRC) (Equação 14) e o período de retorno simples em anos (PRS) (Equação 13):

$$PRS = \frac{Inv. Inicial (R\$)}{Econ./ano (R\$/ano)} \text{ Eq. 13}$$

$$FRC_{(d,n)} = \frac{d \times (1 + d)^n}{(1 + d)^n - 1} \text{ Eq. 14}$$

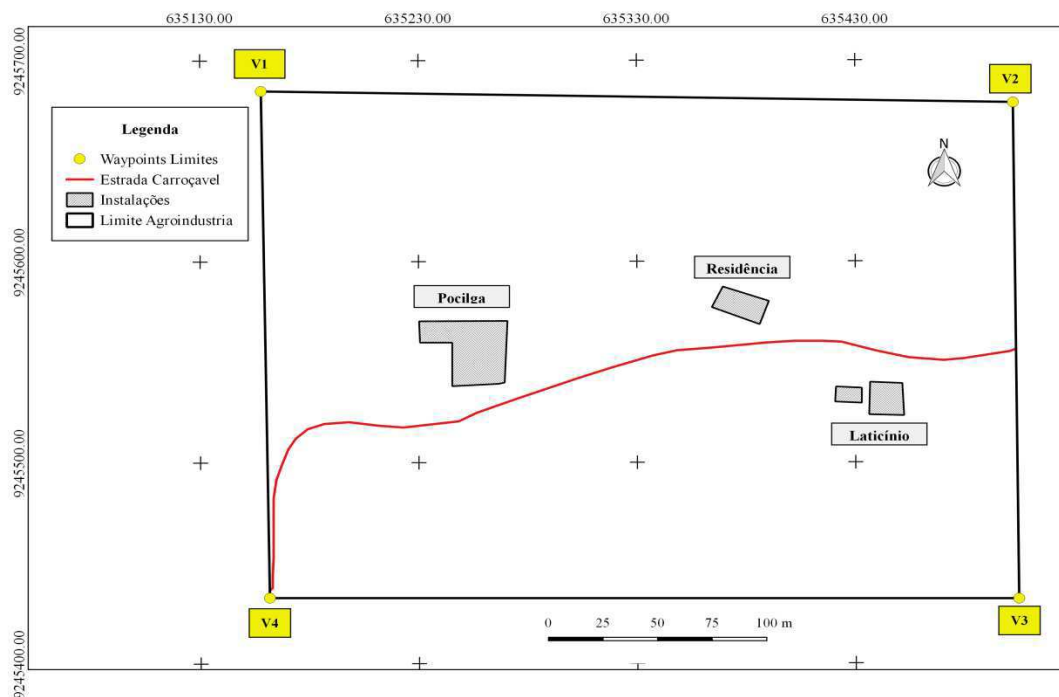
$$PRD = n \times FRC_{(d,n)} \times PRS \quad \text{Eq. 15}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 LIMITES FÍSICOS DA AGROINDÚSTRIA

Segundo a Figura 11 pode-se entender melhor os limites físicos e como a agroindústria está disposta. Os pontos V1, V2, V3 e V4 com as respectivas coordenadas geográficas: lat.6,8226° S, long.37,7768° O; lat. 6,8227° S, long. 37,7737° O; lat. 6,8249° S, long. 37,7737° O; lat. 6,8249° S, long.37,7768° O.

Figura 11. Limite físico da agroindústria, em estudo



Fonte: O Autor, 2017

5.1.1 Aspectos Fisiográficos e Econômicos

A região oeste do Estado da Paraíba abriga o município de Pombal, no Sertão Paraibano, Microrregião de Sousa. Limita-se ao norte com os municípios de Santa Cruz, Lagoa e Paulista, a leste com Condado, ao sul com São Bentinho, Cajazeirinhas, Coremas, e São José da Lagoa Tapada, a oeste, com São Domingos, Aparecida e São Francisco. Com área de 888,807 km² e uma população de 32.110 habitantes, segundo o último Censo do IBGE, o município de Pombal, possui uma população rural de 6.357, representando cerca de 20% da população residente.

Segundo diagnóstico do município de Pombal, da CPRM 2005, este compõe a unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, representando a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino.

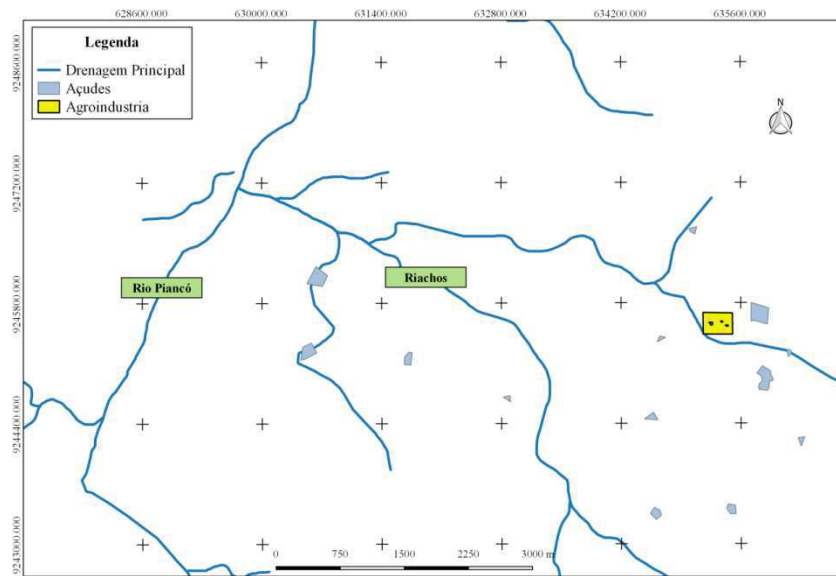
Os solos, mais ocorrentes são os *Planossolos*, de pouca profundidade, de baixa drenagem, fertilidade natural média e problemas de salinização; os *Brunos não Cálcicos*, rasos e fertilidade natural alta; os *Podzólicos*, drenante e fertilidade natural média e os solos *Litólicos*, rasos, pedregosos e fertilidade natural média. Esses solos vêm tornando-se espaços de antropização intensa, provocando degradação destes, devido a má adequação ambiental de nossa espécie com os demais componentes do meio.

A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. Esta vegetação nativa circunda as propriedades rurais desta localidade, porém as atividades de agricultura e pecuária têm contribuído para a supressão de muitos hectares destas espécies vegetais.

Segundo a classificação de Köppen o clima é o *Aw*, semiárido, com chuvas de verão e outono e precipitação média anual de 800 mm, ocorrendo várias, sendo os meses de fevereiro, março e abril os que mais chovem, concentrando 60 a 80% do total da precipitação anual. As temperaturas médias mensais variam de 23,40 a 27,90°C com máximas mensais de 35,70°C em dezembro, e mínimas de 19,30°C, entre julho e agosto (MOURA, 2007).

O município de Pombal, PB, encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, entre a sub-bacia do Rio Piancó e a região do Alto Piranhas. A agroindústria em estudo localiza-se aproximadamente a 7 km do leito do Rio Piancó, cortando toda cidade de Pombal, e é utilizado para captação de água para o abastecimento de sua população, além de atividades produtivas industriais, agrícolas e recreação. Ressalta-se ainda, que há vários pequenos reservatórios de água de propriedade pública e privada, no entrono das atividades desta agroindústria, conforme mostra Figura 12.

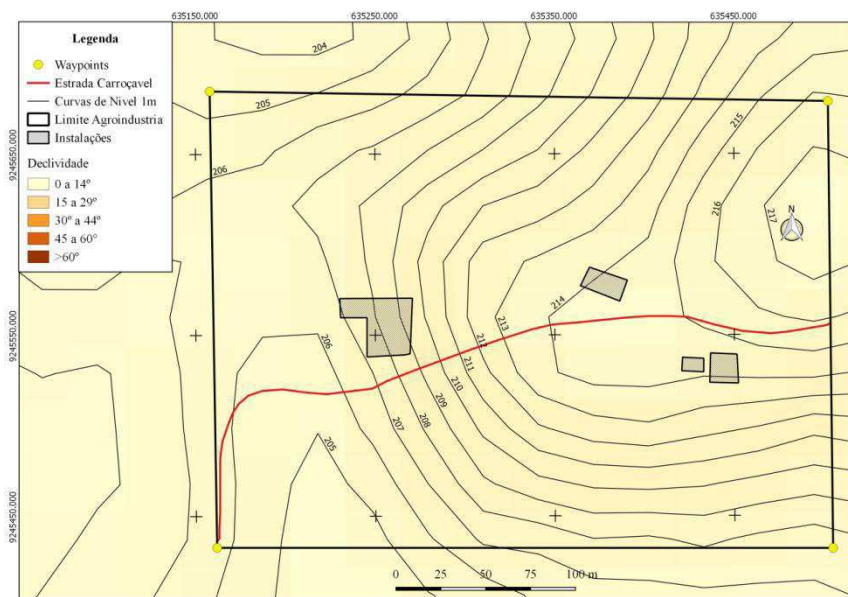
Figura 12. Mapa Hidrográfico correspondente a todo perímetro da agroindústria



Fonte: Próprio Autor, 2017

Outro ponto a ser visualizado na Figura 13, é a declividade da área e as curvas de níveis a 1 metro de distância, correspondente a agroindústria em análise. Pode-se constatar que a topografia da área é favorável apenas para o transporte de dejetos através de tubulações por gravidade reduzindo os custos. No entanto, para o transporte do biogás, se faz necessário à instalação de bombas, em virtude da topografia não permitir o fluxo por gravidade em sentido oposto, ou seja, para alimentação de energia térmica e elétrica nos galpões e residência do próprio estabelecimento.

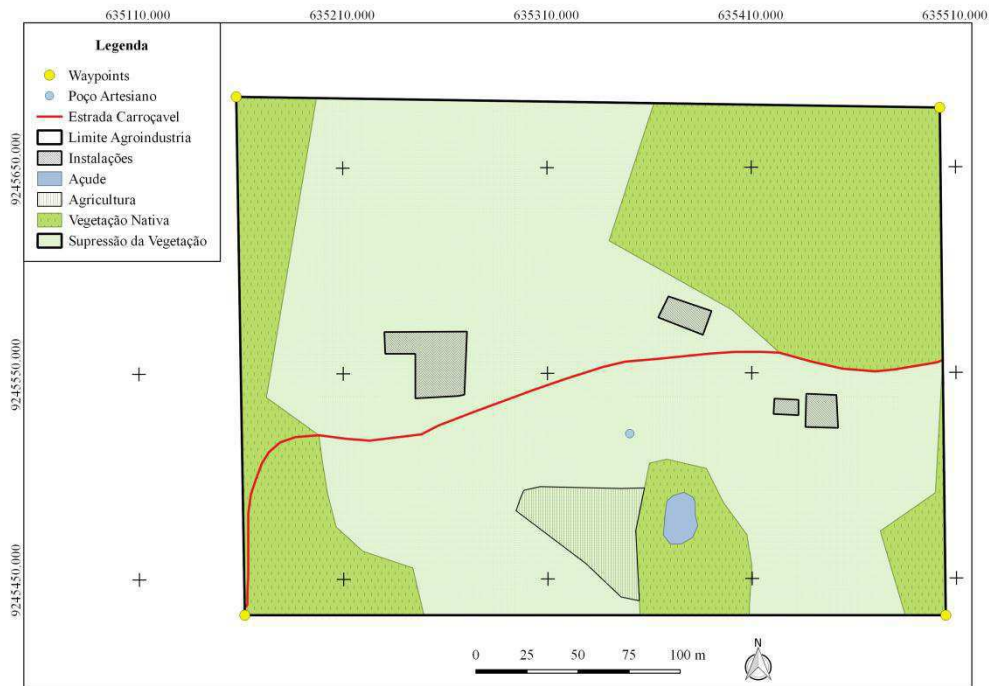
Figura 13. Declividade e curvas de nível da área de estudo



Fonte: próprio autor, 2017.

Quanto ao uso e ocupação da propriedade, Figura 14, relacionando com as atividades antrópicas. Existe a predominância de áreas com vegetação nativa que contrastam com grandes áreas, que já passaram por supressão vegetal para atividades agropecuárias. Verificam-se ainda, as obras hídricas feitas pelo homem sertanejo para convivência com a seca.

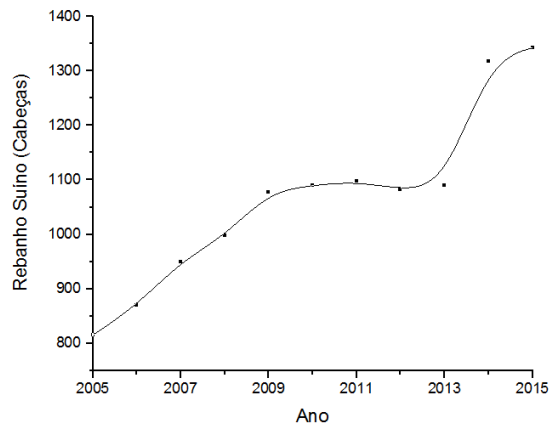
Figura 14. Uso e ocupação do solo pela Agroindústria



Fonte: próprio autor, 2017.

Segundo dados do IBGE (2013), o PIB do município de Pombal – PB era da ordem de 268.890 milhões de reais, ocupando a 18ª posição no ranking dos municípios nesta categoria, contribuindo com 0,58 % do PIB do Estado da Paraíba. O Setor Agropecuário contribuiu (2013) com 10.490 milhões de reais, sendo inferior aos anos anteriores, representando quase 1% da arrecadação do setor no estado. Por sua vez, o Setor Industrial apresentou crescimento, contribuindo com 18.740 milhões de reais, e por fim, o Setor de Serviços, que possui o maior destaque, arrecadou 219.908 milhões de reais.

No tocante ao setor agropecuário, o fato é que nos últimos anos a região enfrenta uma dura estiagem, sendo um fator limitante do desenvolvimento econômico nesta localidade, em virtude de ocasionar diminuição nas contribuições deste setor no PIB. No entanto, o setor da Suinocultura demonstra como em todo País, expansão dos seus rebanhos e investimentos em sua área, como ilustrado na Figura 15, em que traz o gráfico do crescimento do rebanho suíno local, nos últimos 10 anos, segundo dados do IBGE (2015).

Figura 15. Crescimento do rebanho suíno do município de Pombal nos últimos 10 anos

Fonte: O Autor, 2017.

Como se pode observar o município de Pombal – PB apresenta potencial nos diferentes setores da economia tanto para a sua microrregião, como para os municípios próximos do estado do Rio Grande do Norte.

5.1.2 Caracterização das Atividades Produtivas

De caráter agroindustrial, as atividades produtivas de derivados de leite e suinocultura são de pequeno porte, apresentando um estado de transição entre o rústico, aprimoramento técnico de suas instalações e do processo produtivo. Ambas as atividades ainda não atendem totalmente os padrões e regulamentações de suas legislações vigentes, e não estão ambientalmente adequadas, provocando intensos impactos no espaço geográfico onde estão inseridas.

O laticínio inserido na agroindústria (Figura 16), coadjuvante neste projeto, opera em duas instalações distintas, formando uma área produtiva de aproximadamente 340 m², uma destinada à recepção diária de três mil litros de leite por dia, e outra com maquinário necessário para produção dos queijos tipo coalho e manteiga. Além de estar preparando-se para produção de ricota. O Local também dispõe de câmara fria para armazenamento da produção. Este laticínio opera apenas com uma caldeira, que será contemplada neste estudo como demanda energética a ser atendida pelo biogás gerado.

Figura 16. Instalações do Laticínio da Agroindústria



Fonte: O Autor, 2017.

O Sistema de Produção de Suínos é o de Ciclo Completo (CC), que abrange todas as fases de produção desde a maternidade (filhotes) até o produto final, o suíno para ser abatido. A pocilga (Figura 17), parte principal deste estudo, opera em uma estrutura de aproximadamente 940 m², dividida em três galpões de alvenaria, para acomodação de um rebanho de 270 cabeças de suínos de cinco espécies diferentes, separados em 59 matrizes, 03 reprodutores, 168 leitões e 40 filhotes, vale salientar que está é a configuração do rebanho atual.

Figura 17. Instalações da Pocilga na Agroindústria



Fonte: O Autor, 2017

Os galpões acomodam as diferentes fases de criação, onde os leitões são nutridos basicamente de cereais, como farelo de milho, soja e trigo, e do soro de leite gerado como

resíduo do laticínio. Os leitões permanecem em processo de engorda até atingirem um peso médio de 100 a 110 kg, onde são direcionados para abate e comercialização da carne.

5.1.3 Caracterização e Quantificação dos Resíduos

Os resíduos gerados por ambas as atividades se destacam pelo volume e potencial poluidor. Os gerados pelo laticínio são destinados à complementação alimentar do rebanho suíno. Enquanto que os dejetos suínos são lançados *in natura* sobre o solo, formando pequenas lagoas e canais de escoamento de material orgânico em decomposição (Figura 18), que nos eventos de precipitação com escoamento superficial são carregados para distâncias desconhecidas.

Figura 18. Deposição dos dejetos sobre o solo



Fonte: O Autor, 2014/2016

Segundo os levantamentos realizados junto ao produtor, o volume de soro residual é da ordem 3500 litros por dia. Este resíduo de carga orgânica elevada foi avaliado por Abreu e Candeia (2014), que investigaram o comportamento do processo da biodigestão anaeróbia a partir da mistura de dejetos suínos e o soro de leite desta mesma agroindústria, sendo este último caracterizado com umidade e acidez elevada, com pH 4,05.

As instalações da pocilga da Agroindústria além de acomodarem os suínos, acomodam também as excretas dos mesmos, fezes, urina, pêlos e células corporais, além de parte da alimentação que é desperdiçada pelos animais nas cocheiras. Abreu e Candeia (2016) caracterizaram qualitativamente por meio de parâmetros físico-químicos os dejetos suínos provenientes da pocilga em estudo, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização físico-química dos dejetos suínos da agroindústria

Parâmetros	Estercos Suíno
pH	6,88
Condutividade (mS/cm a 25 °C)	2,83
Alcalinidade Total (mg de CaCO ₃ /L)	1572,50
Umidade (%)	87,94
Sólidos Totais (%)	12,06
Sólidos Voláteis %	82,27
Sólidos Fixos %	17,73
DBO ₅ (mg de O ₂ /L)	175,60

Fonte: O Autor, 2016

Para o dimensionamento do biodigestor, a determinação da quantidade de resíduos gerados é fundamental. Neste sentido, a quantidade gerada pelo rebanho foi estimada adaptando a metodologia de Oliveira (1993), em que determinou a produção de dejetos suínos para cada estágio de produção. Conforme exposto na Tabela 4, o volume de dejetos líquidos suínos estimado foi da ordem de 2.498 L/dia, cerca de 2,5 m³/dia.

Tabela 4. Estimativa produção de dejetos suínos por dia na pocilga

Fase de produção	Dejetos L/animal/dia	Nº de animais	Dejetos L/dia
Matriz	21	59	1239
Reprodutores	9	03	27
Filhotes	1,4	40	56
Terminação	7	168	1176
TOTAL	38,4	270	2498

Fonte: O Autor, 2017.

Um fator a ser considerado, na estimativa da produção de biogás, é justamente a diluição dos dejetos em função do desperdício de água utilizada na limpeza das baias dos animais, pelos vazamentos existentes nas redes hidráulicas e nos bebedouros (SCHERER, et al., 1996; OLIVEIRA, 2005).

Constatou-se que a limpeza realizada na pocilga da agroindústria é diária, sendo obtido grande volume de água, por meio de lavagem com mangueira e instrumentos para condução do resíduo até as tubulações instaladas na pocilga, que por sua vez conduzem o efluente até o lançamento sobre o solo, como mencionado anteriormente. Tal volume de água é estimado pelo produtor em uma faixa de 3000 a 5000 litros por dia.

Assim sendo, estudos realizados pela Embrapa (2003) resumem a estimativa de geração de volume de água emitido em função do tipo de criação ponderando nas matrizes o fator multiplicador para esta determinação, logo em sistemas CC, para um rebanho com 59 matrizes tem-se 2802,5 litros de água adicionada aos dejetos suínos, o que favorece a diluição desses (Tabela 5). O valor obtido se aproxima do valor estimado pelo produtor.

Tabela 5. Estimativa da água utilizada na pocilga da Agroindústria

Nº de matrizes	Limpeza L/dia/Matriz	Desperdício Bebedouros L/dia/Matriz	Total (L)
59	32	15,5	2802,5

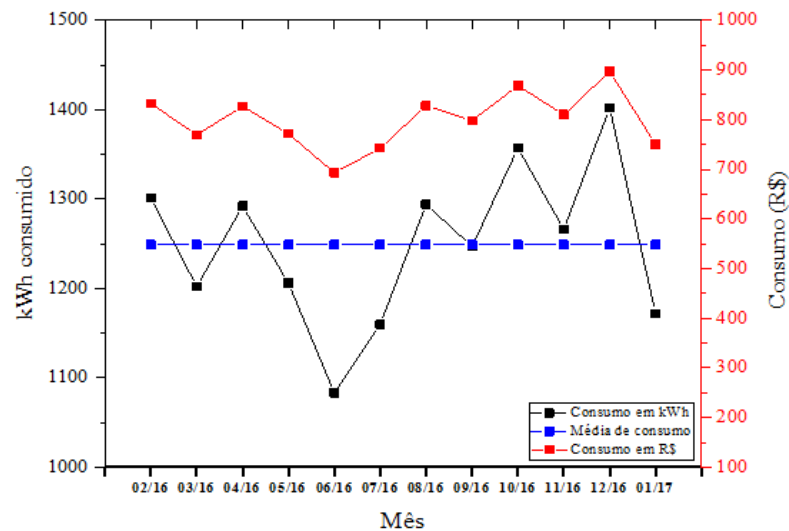
Fonte: O Autor, 2017.

Somando-se os volumes de resíduos gerados, a pocilga lança diariamente 5300 L de dejetos líquidos suínos. Para maior segurança no cálculo das dimensões do biodigestor será adicionado a este volume mais 10%. Logo, tem-se que o volume a ser acondicionado diariamente pela tecnologia é da ordem de 5.830 L, o que para efeito dos cálculos será utilizado o valor de 6 m³ diários.

5.1.4 Caracterização da Demanda Energética

A demanda energética da agroindústria se divide em duas fontes para fins diferentes. A fonte principal é a energia elétrica que atende as atividades domésticas e produtivas, a outra fonte transformasse em energia térmica através da queima de material lenhoso de espécies vegetais nativas do bioma caatinga e da queima de gás GLP (botijão convencional de 13 kg). Sendo que, a primeira será empregada na caldeira do laticínio e a segunda no preparo de alimentos em fogão doméstico.

No tocante ao consumo de energia elétrica, na Figura 19, pode-se observar o gráfico do consumo mensal de energia elétrica da propriedade de fevereiro de 2016 a janeiro de 2017, em que a média é de 1249 kWh, representando cerca de R\$ 800,00 pagos mensalmente. Este valor é inferior ao de mercado, pois a propriedade é cadastrada como tarifa rural.

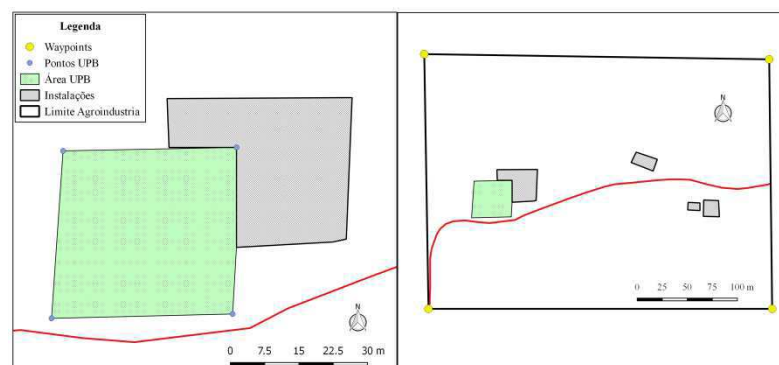
Figura 19. Consumo mensal de energia elétrica da propriedade em kWh e R\$

No laticínio a caldeira consome, de acordo com o produtor, 1 m³ de lenha diariamente, o que representa segundo o documento Fatos e Números do Brasil Florestal (SBS, 2008), o peso de 680 kg de lenha. Este consumo representa semanalmente um custo de R\$ 126,00 com a compra da lenha. Outra demanda da propriedade, é o consumo mensal de 1 botijão de gás GLP de 13 kg, utilizado na cozinha da residência da agroindústria para o cozimento e preparo de alimentos. A média atual de preço de um botijão de gás é de R\$ 60,00, logo gasto anual na agroindústria gira entorno de R\$ 720,00 (12 botijões ao ano).

5.2 DIMENSIONAMENTOS DA USINA DE BIOGÁS

5.2.1 Área de Implantação

A área de implantação possui 14 m² em verde, conforme Figura 20, e está localizada atrás das instalações da pocilga, onde se encontra até o presente momento, a lagoa de dejetos sobre o solo.

Figura 20. Área de implantação da usina de biogás proposta no estudo

Para a melhor acomodação e segurança das instalações na geração de energia, que também pode ser dispostas nessa área, as tubulações e o próprio biodigestor, a área será cercada com mureta, estacas de cimento e arame farpado. No entanto, a única dificuldade encontrada está na distância de 192 m do laticínio, acarretando em um custo maior com tubulações e a obrigatoriedade de uma bomba de biogás para facilitar na condução deste até a caldeira.

5.2.2 Biodigestor

Adotando um tempo de retenção hidráulica, TRH, para o sistema de 25 dias, que é justificado pelos fatores ambientais favoráveis e considerando a realidade econômica da agroindústria, e com a vazão diária (m^3/dia) de resíduos determinada anteriormente, pode-se agora determinar o volume do biodigestor, a partir da Equação 16:

$$V_b = TRH \times Q \quad (\text{Eq. 16})$$

$$V_b = 25 \times 6$$

$$V_b = 150 \text{ m}^3$$

Utilizando a metodologia de Ribeiro (2011), a partir das equações (1) a (11) empregando a ferramenta de cálculo Excel, encontraram-se as dimensões que melhor se adequam ao volume determinado. Adotou-se a proporção de fase gasosa de 40% ($p = 0,40$), por sua vez, o comprimento do biodigestor (L) e o raio da bolsa plástica (r) foram encontrados iterativamente otimizando essas dimensões através do Solver (ferramenta do Excel). Os valores encontrados seguem apresentados na Tabela 6.

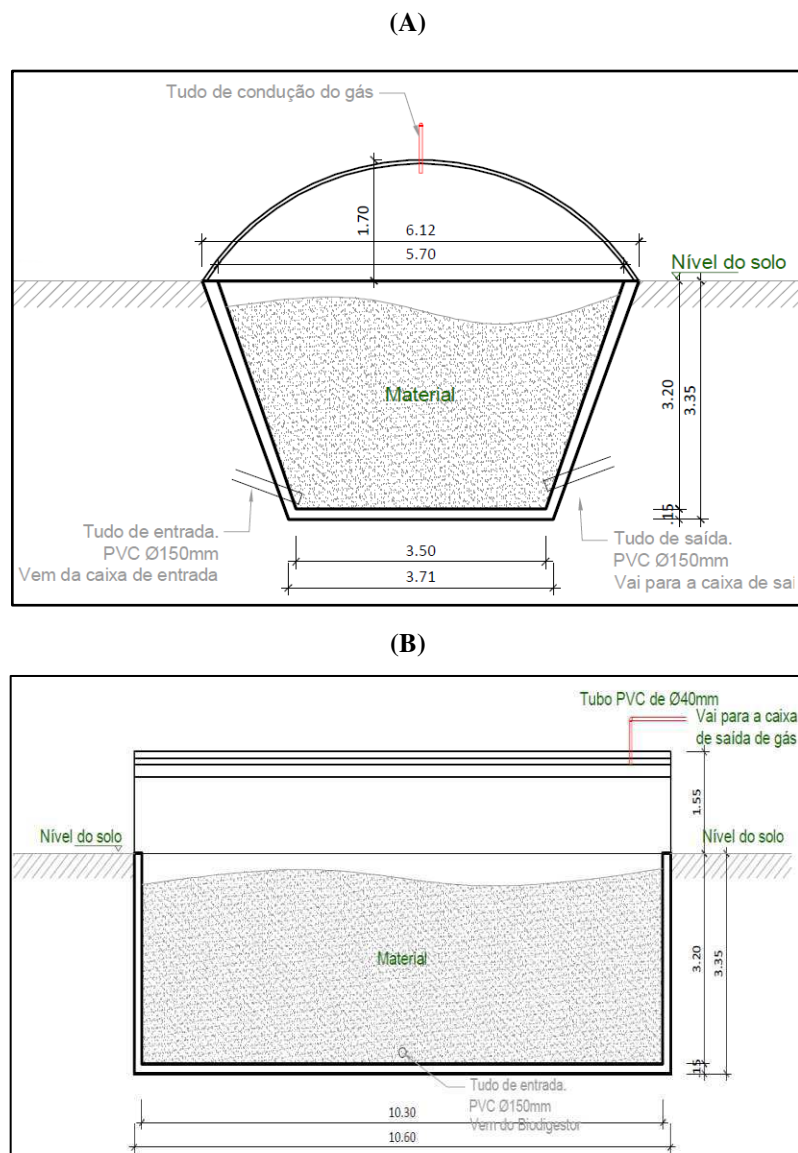
Tabela 6. Dimensões do biodigestor canadense projetado para a agroindústria em estudo

Parâmetro	Descrição	Valores
L	Comprimento do biodigestor	10,3 m
r	Raio da bolsa plástica	2,99 m
P	Perímetro total transversal (campanula mais fossa)	18,76 m
A%	Porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco	43,46%
b	Lateral, base ou largura menor da fossa	3,5 m
a	Largura maior da fossa	5,7 m
h	Profundidade da fossa	3,2 m
Af	Área transversal da fossa	15,6 m ²
At	Área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campanula	25,9 m ²
Ag	Área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás	10,4 m ²

V_t	Volume total do biodigestor (campanula mais gás)	250 m ³
V_f	Volume total da fossa	150 m ³
V_g	Volume total do gás	100 m ³

Com as dimensões obtidas pode-se observar esquematicamente na Figura 21 (a e b), a representação do biodigestor canadense proposto para a Agroindústria em estudo. Este tipo de biodigestor pode ser construído por um tipo de manta plástica apenas, ou por dois tipos, recomenda-se manta plástica de PVC flexível de 0,8 mm a 1 mm.

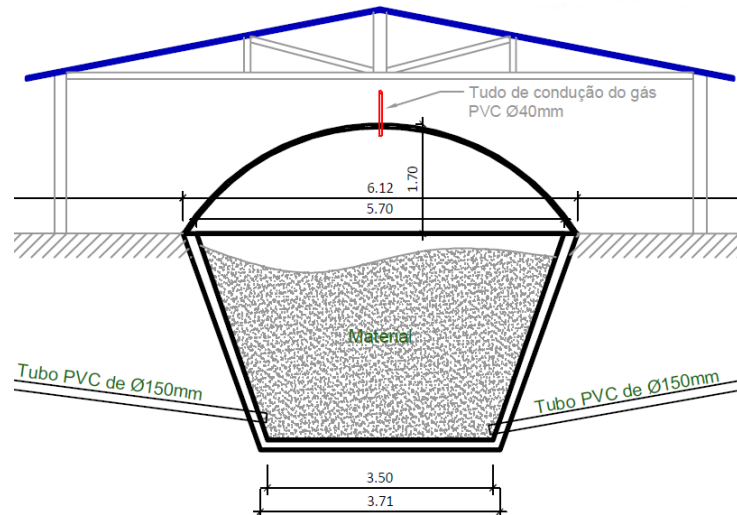
Figura 21. (A) Vista frontal e (B) Vista lateral do biodigestor canadense, após ser dimensionado.



Fonte: O autor, 2017.

Para um melhor rendimento do sistema, recomenda-se a construção de uma cobertura sobre o biodigestor, como ilustra a Figura 22, com o intuito de aumentar a vida útil da lona plástica, evitando sua degradação precoce devido à alta incidência solar existente na região. Além de também, realizar o revestimento com placas de concreto para a fossa, visando acomodar melhor a bolsa biodigestora.

Figura 22. Proposta de proteção do biodigestor com telhas de fibrocimento



Fonte: O autor, 2017.

5.2.3 Unidade de Mistura de Efluente e Caixa de Saída

De forma sucinta para tal modelo de biodigestor, a caixa de entrada pode ser suprimida, necessitando apenas de uma caixa de passagem para simples manutenção e monitoramento do sistema. No entanto, será proposto mais uma caixa de mistura que acondicione o volume de 6 m³ diários, com a finalidade de efetuar a homogeneização manual do substrato antes de inserir no biodigestor, de modo a favorecer melhor a reação de biodegradação anaeróbia.

A Equação 14 foi adotada para mensurar as dimensões da caixa:

$$V_c = L^3 \quad \text{Eq. 14}$$

$$6 \text{ m}^3 = L^3$$

$$L = 1,82 \text{ m}$$

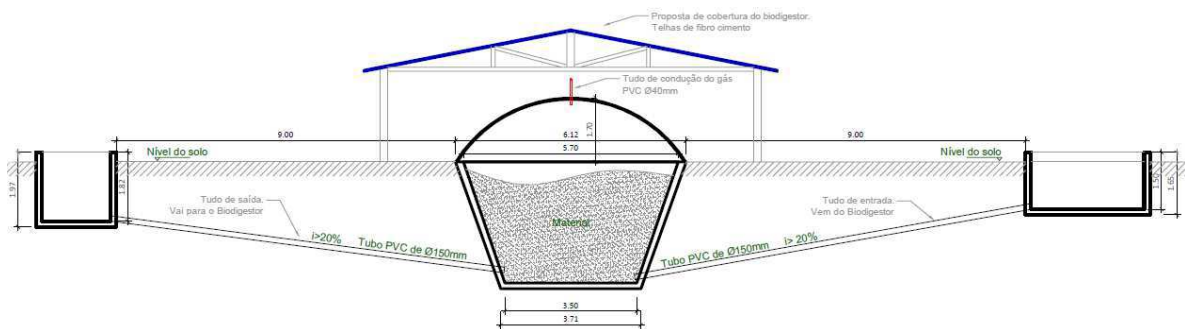
Para tanto, é importante ressaltar que o acesso à tubulação que conduzirá o material homogeneizado, permaneça no fundo da caixa, e que esta tenha uma pequena declividade em direção ao biodigestor. Possivelmente, a parte da caixa deve ser construída sobre escavação

no solo para que a condução dos dejetos da pocilga por gravidade seja garantida. A caixa de alvenaria proposta pode ser substituída por caixa de polietileno de volume igual ou superior.

A caixa de saída deve ter segundo Manual do Biodigestor, volume três vezes maior que a caixa de entrada, a fim de acondicionar o biofertilizante por mais tempo, permitindo o mesmo passar por um pequeno processo aeróbio e foto degradativo. Logo, a caixa de saída deve ter um volume de 18 m^3 e altura de até 1,5 m, favorecendo a degradação do material. Por sua vez, a caixa de saída terá o formato de um paralelepípedo, em que terá comprimento de 4 m e largura de 3 m, totalizando volume desejado de 18 m^3 .

A Figura 23 ilustra, as estruturas do biodigestor com as caixas de entrada e de saída para a instalação da Usina de Produção de Biogás deste estudo. Todos estes desenhos estão dispostos detalhadamente nos Apêndices.

Figura 23. Biodigestor Canadense com Caixas de Entrada e Saída



Fonte: o autor, 2017.

5.2.4 Estimativa de Produção de Biogás

De acordo com o volume de dejetos líquidos gerados pela atividade produtiva da pocilga, efetuou-se a estimativa de produção de biogás, conforme exposta na Tabela 7, onde se verifica a produção diária e mensal do volume de biogás. A partir destes dados permitiu-se calcular o potencial energético da propriedade.

Tabela 7. Estimativa da produção de biogás

	Dejetos Líquidos kg/dia	Faixa produção de biogás m^3/kg	Média produção de biogás m^3/kg	Produção de biogás diária m^3/dia	Produção de biogás mensal $\text{m}^3/\text{mês}$
Valores	2498	0,079 – 0,89	0,08	199,84	5995,20

Sabendo que, no biogás há uma fração de concentração de metano (CH_4), que é o responsável pela combustão, buscou-se verificar em estudos anteriores a composição do biogás mensurada com o auxílio do kit biogás da Embrapa, com os dejetos da agroindústria em estudo. Estes têm em média concentração de 70,6% de metano, 29,4% de gás carbônico, e traços de ácido sulfídrico e amônia, sendo então considerada uma composição excelente. De posse do conhecimento do percentual como volume efetivo para combustão, estimaram-se os volumes diários e mensais de produção de metano correspondentes a $141,13 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ e $4233,81 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$, respectivamente.

O biogás gerado será utilizado como combustível em um conjunto motor gerador onde se dará a conversão em energia elétrica para atender as demandas da propriedade. Podendo, também, ser canalizado para a caldeira do laticínio e para o fogão de uso doméstico da residência.

Para obter maior segurança durante a armazenagem do biogás, aconselhar-se obter uma bolsa de gás que possa ser acoplada por meio de tubulação ao biodigestor, perfazendo uma margem de 20% de segurança no volume.

5.2.5 Tubulações

As tubulações não podem deixar de ser consideradas, visto que tem a finalidade de conduzir os efluentes e afluentes, além do gás gerado. Logo, as propostas para as tubulações para líquidos e para gases, correspondente aos tipos de materiais e dimensões, foram às seguintes:

5.2.5.1 Para Líquidos

A tubulação de líquidos começará no acoplamento de cano PVC de 150 mm, usualmente mais recomendado e será adotado em toda extensão para a condução dos substratos líquidos, na saída dos dejetos da pocilga conduzindo-os até a caixa de mistura que por sua vez, levará até o interior do biodigestor. Ao passar o TRH, o material degradado será conduzido para a caixa de saída, também, por tubos de PVC de 150 mm.

Adaptações podem ser utilizadas, principalmente nas entradas e saídas, com fins de garantir a homogeneização do material antes de entrar, e a devida saída do material degradado no TRH correto.

5.2.5.2 Para Gases

Para a condução do biogás, usualmente, recomenda-se a instalação de tubulações e conexões de PVC de 40 mm, porém, para alimentar o motor de combustão interna, o diâmetro adotado tem sido de 25 mm, em virtude de obter vazão suficiente para o sistema de operação. Já para a utilização direta em outros equipamentos, deve ser usado o diâmetro de $\frac{3}{4}$ ".

Além disso, é importante destacar que as ligações das tubulações devem ser bem realizadas, a fim de garantir a vedação e eliminar a possibilidade de vazamentos. Aconselha-se verificação periódica nas tubulações para identificação de vazamentos.

5.2.6 Filtragem do Biogás

Existem diferentes técnicas de filtragem do biogás, visando à remoção principalmente dos teores de sulfeto de hidrogênio (H_2S), responsável por ação fortemente corrosiva sobre as peças e equipamentos que utilizam o biogás, conseqüentemente, diminuindo a vida útil desses.

Dentre as técnicas, propõem-se apenas a lavagem do biogás por água pura, favorecendo remoção física dos teores indesejados do sulfeto e do CO_2 , além da diminuição da umidade do biogás. De modo que, as moléculas de vapor de água presente se integram a própria água, e esta pode ser acondicionado em vasilhames de 20 L (Figura 24), devendo ser adaptados para permitir a passagem segura do gás, sem qualquer possibilidade de vazamentos, como proposto pelo Manual do Biodigestor Sertanejo (2011). Estes recipientes permitem o acompanhamento visual da cor da água que é um indicador para que ocorra a troca da água utilizada e a substituição do recipiente, caso haja alguma avarias com o material.

Figura 24. Sistema de filtragem física do biogás proposta



Fonte: Manual do Biodigestor Sertanejo (2011).

Outra opção seria forçar a passagem do biogás sobre tubos de PVC ou de metais antioxidantes preenchidos com limalha de ferro finamente dividida para remoção química a seco. No entanto, tal material tem de ser constantemente adquirido, visto que é consumido rapidamente, e os resíduos formados degradam a estrutura a qual estão acondicionados, necessitando de trocas frequentes.

Um dos grandes problemas dos sistemas de purificação de biogás é a identificação, por parte do usuário, no momento da substituição ou manutenção do filtro, por isso, se faz necessário a instalação de acesso para coleta do biogás, após a filtragem, para verificação da necessidade de troca.

5.2.7 Sistema de Drenagem

A concentração de umidade do biogás é elevada, e o recomendado é a instalação de drenos, de modelo conforme Figura 25, para remover o excesso de água presente e consequentemente, melhorando a uniformidade da queima do biogás.

O dreno deve ser instalado no ponto mais baixo da tubulação de gás, sendo necessária a abertura de um orifício no dreno com 0,7 m de profundidade, onde o mesmo deve ser enterrado. Se a tubulação de gás passar por diferentes pontos entre altos e baixos, formando “barrigas” no cano, devem ser instalados drenos nos pontos que forem baixo.

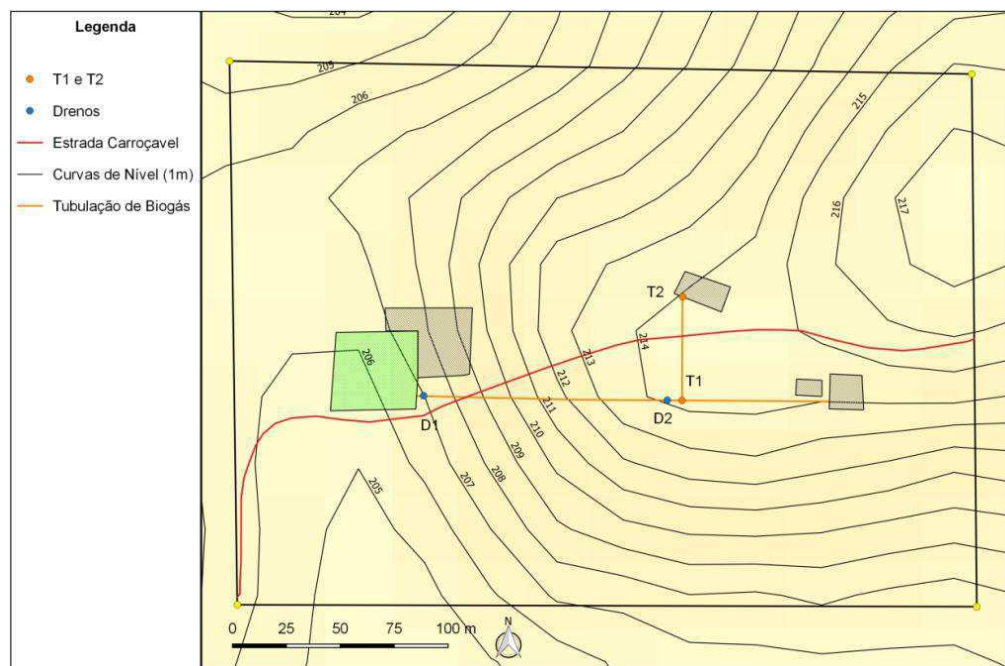
Figura 25. Modelo do dreno de biogás proposto



Fonte: Manual do Biodigestor Sertanejo, 2011

Observando-se a distância entre a usina de produção do biogás até o laticínio, tem-se o percurso de aproximadamente 190 m. E, do ponto T1, onde será instalado desvio para a residência, ao ponto T2, a distância é de 40 m. Com o auxílio da topografia do terreno, a partir das curvas de nível apresentadas anteriormente, seguiu-se as recomendações acima para as instalações de drenos, conforme estão indicados nos pontos D1 e D2 na Figura 26.

Figura 26. Indicação da instalação de drenos segundo recomendações



Fonte: o autor, 2017.

5.2.8 Instalação da Usina de Biogás

De acordo com o Manual da Biodigestão (2008), os procedimentos de instalação do biodigestor canadense seguem configurados no Quadro 4. Sendo importante destacar, que se

deve fazer um reconhecimento da área para que seja previamente idealizada a disposição das estruturas que compõem a usina de produção do biogás de forma mais segura possível, além de propiciar melhores condições de operação.

Quadro 4. Procedimentos para instalação da usina

Trabalhos com movimentação de solo
1. Limpeza e Terraplanagem da área proposta – Utilização de máquinas pesadas
2. Escavação de fossa, caixa de entrada e saída nas dimensões definidas anteriormente
3. Escavação dos orifícios para construção das colunas da cobertura
4. Escavação de valetes para acomodação das tubulações de líquidos e gases até os destinos específicos
Trabalhos em alvenaria
1. Construção das caixas de entrada e saída
2. Construção de pequena edificação para abrigar o motor-gerador
3. Construção das vigas para suporte da cobertura
Confecção do biodigestor
1. Utilizar a manta de PVC 0,8 mm para revestimento da fossa
2. Instalar os tubos de entrada e saída na manta fazendo a vedação do sistema
3. Fixar o perímetro da manta de PVC 1 mm com as dimensões específicas anteriormente, fazendo o aterramento da mesma
4. Instalar a tubulação para o biogás
Tubulações
1. Acomodação das tubulações e conexões conforme proposto
2. Instalação de desvio de tubulação para residência
3. Instalação de pontos de monitoramento de biogás
Sistema de Drenagem
1. Instalação dos drenos nos locais indicados
Geração de energia
1. Realizar as devidas adaptações nos equipamentos para utilização do biogás
2. Conexão a rede elétrica
Adicionais
1. Instalação de bolsa de biogás
2. Instalação de gasômetro e bomba de biogás
3. Instalação de sistema de filtragem

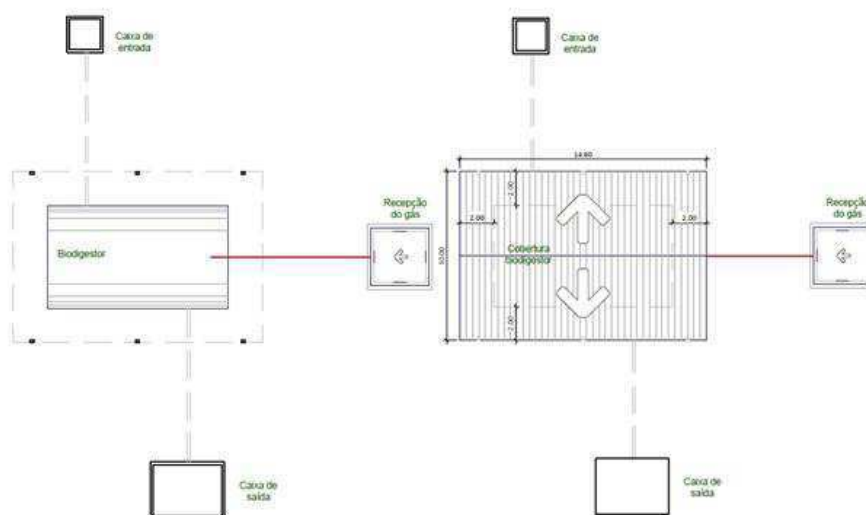
Fonte: o autor, 2017.

O selamento da campânula do biodigestor também pode ser feito usando um selo d'água, por meio de um pequeno tanque d'água que deve circundar o biodigestor, ficando a manta de cobertura do biodigestor presa no fundo do tanque.

Para a instalação de um biodigestor modelo canadense os materiais básicos necessários são: Tijolos horizontais vazados; Cimento; Areia; Telha de Fibrocimento; Manta de revestimento de PVC flexível de 0,8 mm; Manta de cobertura de PVC flexível de 1,0 mm; Tubulação de PVC de 150 mm; Tubulação e conexões de PVC de 25 mm; Materiais para vedação, como colas, fitas e silicone.

A Usina de biogás até aqui dimensionada, segue representada esquematicamente na Figura 27, em que se apresenta a direção do fluxo do sistema, as estruturas dimensionadas e propostas.

Figura 27. Disposição das instalações da UPB



Fonte: O autor (2017).

5.2.9 Operação e Monitoramento da Usina

A operação diária do biodigestor é bastante simples, e deve seguir alguns passos. Sendo importante destacar que as condições de criação em confinamento devem ser mantidas, assim como, as tubulações que fazem parte da estrutura da pocilga, de modo a conduzir o material até a usina de produção de biogás.

Para o caso desta pocilga, a adição de água aos dejetos será desnecessária, em virtude da quantidade de água adotada tanto para limpeza das baias, como para os suínos ser suficiente. As demais recomendações de operação e monitoramento seguem abaixo:

- Realizar a mistura, buscando homogeneizar e diminuir o diâmetro das partículas sólidas, em seguida liberar para o biodigestor, através da caixa de entrada;
- Garantir o maior volume diário de entrada do material possível, evitando deixar acúmulo de resíduos no fundo da caixa de entrada;

- Manipular as tampas de controle de fluxo das tubulações das caixas de entrada e saída;
- Retirar e aplicar o biofertilizante de maneira adequada;
- Observar os registros de regulação de passagem de biogás e os equipamentos de filtragem e geração de energia;
- Utilizar o biogás e observar a campânula e a bolsa de biogás para acondicionamento do excedente;
- Realizar manutenção periódica nas tubulações, de modo a preservar e renovar as vedações feitas durante a montagem do sistema;
- Através dos pontos de monitoramento de biogás, coletar amostras para caracterização qualitativa;
- Realizar a troca quando necessário da água presente no filtro de biogás;
- Realizar a limpeza do entorno das estruturas para prevenir eventuais danos às mesmas e garantir a salubridade do ambiente;
- Observar e realizar a manutenção periódica nos equipamentos, que serão utilizados para o biogás, com fins de preservar sua integridade e melhorar sua vida útil;
- O operador deve sempre utilizar equipamentos de proteção individual (EPI), para sua segurança, principalmente, nas atividades que envolvem conversão em energia, seja elétrica ou térmica.

5.2.10 Equipamentos Adicionais

Para garantir o melhor funcionamento desta usina de biogás, observando a realidade da agroindústria, aconselha-se a presença dos seguintes equipamentos que podem ser essenciais para a eficiência do sistema, a saber:

- Medidor de Vazão de biogás, com vazão nominal a partir de 5 m³/hora, (Figura 28a);
- Bomba de biogás para impulsão do gás até o laticínio, (Figura 28b);
- Analisador de biogás, para acompanhamento da sua qualidade, podendo ser o da Embrapa ou dispositivos eletrônicos de outras empresas, (Figura 28 c-d).

Figura 28. Equipamentos adicionais propostos



Fonte: Google, 2017

5.2.11 Equipamentos para Conversão em Energia Elétrica

5.2.11.1 Estimativa da geração

A partir dos dados sobre a produção diária e mensal de biogás expostas no item 5.2.4, pode ser estimada a produção de energia elétrica para a referida usina. A Tabela 8 expõe os dados estimados destes valores, permitindo observar se a demanda energética é atendida.

Tabela 8. Estimativa da geração de kWh pelo biogás produzido

	Produção de metano diária CH ₄ m ³ /dia	Produção de metano mensal CH ₄ m ³ /mês	Equivalência de 1 m³ de biogás em kWh	Média equivalência de 1 m³ de biogás em kWh	kWh/dia	kWh/mês
Valores	141,13	4233,81	4,95 – 7,92	6,44	908,88	27265,74

Observando a demanda de energia elétrica diária da propriedade que é de 69 kWh, pode-se dizer que, o potencial de geração diária do volume de biogás atende a demanda de forma a ter uma sobra de aproximadamente 130 m³, logo, seria consumido diariamente cerca de 10 m³ de biogás para esta demanda. Porém, na realidade um sistema de geração não funciona de maneira tão simples assim, logo, deve-se calcular a corrente de partida de cada equipamento utilizado na propriedade, para que se possa, então, determinar qual conjunto gerador servirá para a realidade da propriedade.

5.2.11.2 Conjunto Motor-Gerador

Devido à impossibilidade de levantamento de dados nos equipamentos do laticínio, a determinação do conjunto motor-gerador foi realizada apenas para atender a demanda da residência e da pocilga.

Na Tabela 9, segue compilados os equipamentos existentes e suas respectivas potências médias de partida, que será também a potência nominal, exceto a bomba d'água é um equipamento que tem potência de partida diferente da nominal, como os demais equipamentos com motores.

Tabela 9. Estimativa da potência média de partida em kW

Quantidade	Equipamento	Potência Média de Partida kW
4	Lâmpada 15 W	0,06
6	Lâmpada 30 W	0,18
1	Geladeira	0,25
1	Freezer	0,5
1	Fogão Elétrico 4 bocas	6
1	Microondas	2
1	Televisor	0,2
1	Ventilador	0,1
1	Liquidificador	0,2
1	Ferro de passar	1
1	Computador	0,3
1	Roteador	0,012
1	Bomba de Água 0,5 cv	0,8
Total		11,6

No que concerne a medida de segurança, considerando que existirão perdas nos cabos de transmissão de energia e possíveis sobrecargas, consideramos um acréscimo de 30% na potência de partida, determinando assim a potência máxima (Pmax), pela Equação 15, a seguir:

$$P_{\max} = 11,6 + (0,30 \cdot 11,6) \quad \text{Eq.15}$$

$$P_{\max} = 15,08 \text{ kW}$$

Portanto, o motor-gerador escolhido para atender as potências determinadas, segue ilustrado na Figura 29, com potencia nominal de 12,5 kW e potência máxima de 15,6 kW. Assim como os dados técnicos do motor escolhido no Quadro 5.

Figura 29. Conjunto motor-gerador escolhido para atender as demandas destacadas



Fonte: Powermate.

Quadro 5. Especificações técnicas do motor escolhido

Modelo	Conjunto Motor-Gerador – Ciclo Otto
Tensão	Bivolt
Potência Máxima	15,62 kW
Potência Nominal	12,5 Kw
Combustível	Gasolina
Potência	22 HP
Sistema de refrigeração	Ar
Sistema de partida	Elétrico
Frequência	3600 rpm a 60 Hz
Consumo de combustível	5 L/H
Capacidade do tanque	30 L

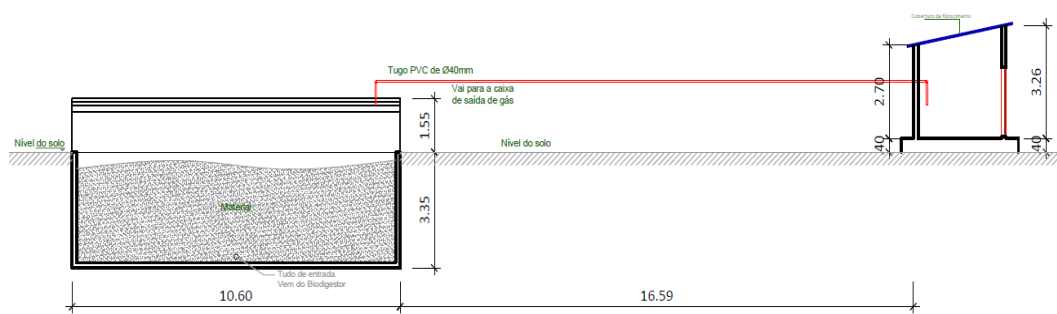
O gerador opera por meio de motor ciclo Otto, e que para ser utilizado com biogás deve-se realizar algumas adaptações segundo Souza, et al. (2004), a saber:

- Usinar o cabeçote para elevar a sua razão de compressão entre 12:1 até 14:1, esta razão elevada é possível, pois o poder antidetonante do gás está ligado a sua concentração de metano;
- A fim de antecipar a ignição devem-se alterar também os came do sistema de ignição em 45°, pois o biogás demora mais para detonar;
- No sistema de alimentação do motor, deve-se instalar um tubo metálico de aproximadamente 10 cm no coletor de admissão do motor, onde será conectada a tubulação de biogás para alimentação do motor;

- O motor deve ser iniciado sempre com gasolina, e após, entrar em operação, é realizada a troca do combustível abrindo a tubulação de biogás e fechando a alimentação de gasolina.

Este equipamento deve ser mantido em abrigo, com certa distância do biodigestor, para proteção contra eventuais intemperes, de modo a estender sua vida útil e permitir que o sistema funcione com maior segurança. Portanto, foi proposta a construção de um abrigo com 15 m² para o conjunto motor-gerador conforme ilustra Figura 30. Na planta 2 do Apêndice B deste projeto há maiores detalhes deste abrigo.

Figura 30. Abrigo para o conjunto motor-gerador



5.2.12 Geração de Energia Elétrica

Como visto na Tabela 9, nas especificações do motor, o consumo de combustível é de 5 litros por hora, logo, para uma operação de 12, 18 e 24 horas teríamos um consumo de 60, 90 e 120 litros, respectivamente.

Considerando que um 1 m³ de biogás equivale a 0,72 L de gasolina comum, comercializada em postos de combustível, para as três condições de operação acima, será necessário um consumo de biogás da ordem de:

$$Q17 = \frac{60}{0,72} = 83,33 \text{ m}^3 \quad \text{Eq 16}$$

$$Q18 = \frac{90}{0,72} = 125 \text{ m}^3 \quad \text{Eq 17}$$

$$Q19 = \frac{120}{0,72} = 166,66 \text{ m}^3 \quad \text{Eq .18}$$

Logo, como a quantidade de biogás diária estimada é da ordem de 199,84 m³, acredita-se que, a demanda de energia elétrica da residência e da pocilga pode ser atendida durante todo dia, e podendo gerar sobras da ordem 33 m³ de biogás, adotando em outras atividades. Não impedindo de realizar operação, de modo a diminuir as horas de uso do gerador e aproveitar o biogás excedente em substituição ao botijão de gás GLP.

5.2.13 Geração de Energia Térmica

O valor da equivalência de 1m³ de biogás para o peso em lenha (material vegetal para combustão) gera controversa, entretanto, o valor mais adequado para este estudo foi de 1,55 kg. Logo, para o volume diário de biogás gerado teríamos uma equivalência de 309,75 kg de lenha disponíveis diariamente para combustão.

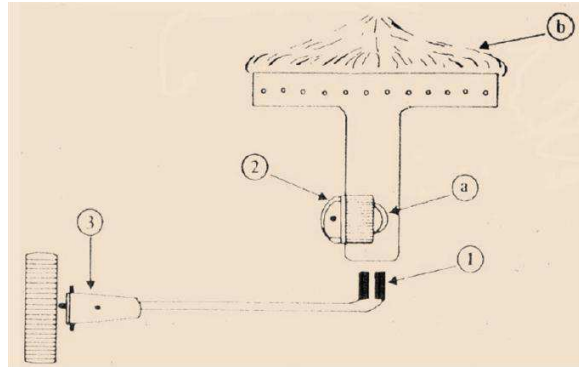
Em momento anterior já discutido, a demanda de lenha diária utilizada pela caldeira no laticínio é da ordem 680 kg, logo o biogás gerado não atende nem sequer a metade da demanda de lenha. Neste sentido sugere-se que o mesmo não seja empregado para conversão térmica na caldeira, uma vez que consumiria todo o volume de gás gerado deixando de aproveitá-lo para a conversão em energia elétrica e atendendo a demanda, além os equipamentos industriais terem de passar por adaptações nos queimadores. Isto, não impede que o mesmo seja empregado na atividade, desde que não comprometa a geração de energia elétrica.

Outra possibilidade é a utilização do biogás como substituto do botijão de gás GLP, na qual equivale a aproximadamente 33 m³ de biogás. Portanto, o excedente pode ser utilizado para cozimento de alimentos em um fogão simples, em que seus queimadores devem ser adaptados. Como o consumo do gás GLP na propriedade é de 1 botijão por mês, a produção de biogás da usina com certeza suprirá a demanda deste produto.

Segundo Manual da Biodigestão (2008) as adaptações nos queimadores do fogão, como ilustra a Figura 31, são as seguintes:

- Alargar o injetor de gás a partir de 1 e 0,5 mm; (3)
- Fechar aos poucos a entrada de ar, embutindo um pedaço de mangueira plástica flexível no local da entrada de ar e perfurando dois furos opostos de 2 mm; (1)
- Desmontar o botão do fogão e alargar para 1 mm o furo menor. (2)

Figura 31. Adaptadores para os queimadores de fogões domésticos



Fonte: Winrock, 2008

5.3 ESTUDO DA VIABILIDADE

5.3.1 Custos de Instalação

Este projeto parte de uma previsão de vida útil entre 10 e 15 anos, considerado o tempo médio de vida do motor-gerador. No entanto, nada impede que outros componentes do sistema venham necessitar de trocas antes deste prazo, como as mantas de PVC, que podem passar por troca a cada cinco anos, como forma de remoção do lodo depositado no fundo da vala.

Para orçar os custos do referido projeto, foram considerados os preços de materiais e equipamentos necessários para instalação do biodigestor, excluindo-se os adicionais mencionados anteriormente. Tais valores foram extraídos de planilha orçamentária do relatório sintético de composições unitárias da construção civil (adaptado ao SINAPI) elaborado pelo Saneamento de Goiás S/A (SANEGO) em 2015. Estão inseridos nos cálculos os valores de maquinários para escavação, e também a mão de obra para instalação do projeto.

O valor total encontrado foi de R\$ 40.062,71, mas pensando em possíveis custos adicionais não contabilizados, determinou-se um acréscimo de 10% ao valor final, resultando em um custo final de R\$ 44.068,98, conforme Tabela 10. Os materiais que compõem o biodigestor canadense e sua construção, assim como, o conjunto motor-gerador representaram cerca de 81% do valor do projeto.

Tabela 10. Orçamento da Usina de Biogás proposta

Trabalhos com movimentação de solo	Valores (R\$)
Limpeza mecanizada terreno com raspagem superficial	395,64
Escavação mecanizada (com retroescavadeira) em valas com material de 1ª categoria - profundidade de 2,0 a 4,0m	1147,50
Escavação mecanizada (com retroescavadeira) em valas com material de 1ª categoria – profundidade até 2,0 m	109,98
Regularização e compactação mecanizada fundo de valas	70,98
Trabalhos em alvenaria	
Construção das caixas de entrada e saída	
Alvenaria tijolo furado 1/2 vez, cim/cal/areia 1:3:6 s/andaime / Revestimento de chapisco cimento e areia 1:3	675,65
Construção do abrigo para motor-gerador	
Alvenaria tijolo furado 1 vez, cim/cal/areia 1:3:6 s/andaime / Revestimento de chapisco cimento e areia 1:3	1.317,00
Cobertura com telhas onduladas fibro cimento esp.=6 mm	
Confecção do biodigestor	
Biodigestor Canadense	
Sistemas de Tratamento de Suínos (Embrapa, 2003)	22.500,00
Tubulações	
Tubos de PVC 150 mm (estimativa para 12 m)	231,96
Tubos de PVC 25 mm (estimativa para 150 m)	165,00
Conexões de PVC 150 e 25 mm	150,00
Sistema de Filtragem	
Vazilhame d'água de 20 L	10,00
Geração de energia	
Conjunto Motor-Gerador	
Powermate PW 15625	13.289,00
TOTAL	40.062,71
TOTAL + 10%	44.068,98

5.3.2 Custos de Manutenção

A Usina de Produção de Biogás requer muita atenção para evitar quaisquer danos as suas estruturas, principalmente, em suas partes mais frágeis, como a manta de PVC que pode ser rasgada por fatores adversos imprevisíveis. Tal cuidado pode evitar constantes reparos. A manta de PVC ainda pode sofrer grande desgaste por exposição a variações climáticas, podendo ou não ser substituído por outra.

Já o conjunto motor-gerador requer manutenção mais simples, necessitando de troca de óleo e do filtro, e substituição da vela de ignição. Esses reparos devem ser realizados a cada três meses de operação. Para alguns itens de menor complexidade e manutenção, adicionados ao sistema de produção, como o vasilhame d'água para filtragem do gás requer substituição devido a sua exposição às variações climáticas, por isso, sugere-se substituição dos mesmos a cada seis meses. Gastos a mais não previstos aqui serão adicionados do valor final em 10%, de forma a garantir a cobertura de tais custos.

A Tabela 11 traz o compilamento de todo o plano de manutenção requerido pelo projeto e seus respectivos custos.

Tabela 11. Orçamento do plano de manutenção da Usina de biogás

Manutenção	Período	Custo (R\$)
Troca de 250 m ² de manta de PVC	5 anos	8.759,00
Limpeza manual da fossa do biodigestor	5 anos	300,00
Troca de óleo, filtro e velas do motor-gerador	3 meses	70,00
Troca do vasilhame d'água	1 ano	10,00
Total Manutenção em 10 anos		21.018,00
Total Manutenção em 10 anos + 10%		23.119,80
Total Manutenção em 15 anos		32.127,00
Total Manutenção em 15 anos + 10%		35.339,70

Conforme os valores estimados referentes à manutenção, Tabela 11, pode-se afirmar que o custo da manutenção anual desta usina gira em torno de **R\$ 2.121,80**, o que significa um custo mensal de **R\$ 176,82**.

5.3.3 Analise Econômica

O cálculo da economia ao ano de energia elétrica e da compra de botijão de gás GLP, utilizando o preço do kWh mais impostos cobrado pela concessionária de energia, segundo dados expostos na Tabela 12, e o preço médio do gás GLP que de R\$ 60,00. Verificou-se um custo diário de R\$ 21,50, o que representa anualmente uma economia de valor de R\$ 7.740,00 com energia elétrica, e para uma demanda de 1 botijão por mês, a economia anual é de R\$ 720,00. Portanto, ao somar os dois valores do projeto, pode representar uma economia anual de R\$ 8.460,00.

Tabela 12. Estimativa de Economia diária com energia elétrica para a Agroindústria

Quantidade	Equipamento	Potência Média de Partida kW	Horas de utilização diária	Consumo em kWh
4	Lâmpada 15 W	0,06	5	0,3
6	Lâmpada 30 W	0,18	4	0,72
1	Geladeira	0,25	24	6
1	Freezer	0,5	24	12
1	Fogão Elétrico 4 bocas	6	0,5	3
1	Microondas	2	0,5	1
1	Televisor	0,2	8	1,6
1	Ventilador	0,1	10	1
1	Liquidificador	0,2	1	0,2
1	Ferro de passar	1	1,5	1,5
1	Computador	0,3	4	1,2
1	Roteador	0,012	24	0,288
1	Bomba de Água 0,5 cv	0,8	6	4,8
Total de kWh				33,60
Preço do kWh				0,64
Economia R\$/dia				21,50

Com um investimento inicial de R\$ 44.068,98, há uma economia anual de R\$ 8.460,00, considerando a taxa de desconto (d) de 10% ao ano e o período de vida útil (n) da usina de biogás, sendo de 10 e 15 anos. O período de retorno simples (PRS), o fator de recuperação de capital ($FRC_{(d,n)}$) e o período de retorno descontado (PRD) são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13. Fatores econômicos de viabilidade analisados

	N = 10 anos	N = 15 anos
$FRC_{(d,n)}$	0,1627	0,1315
PRS (anos)	5,20	5,20
PRD (anos)	8,46	10,26

Fonte: o autor, 2017.

Logo, como verificado o investimento nos dois cenários de vida útil, se pagaria pelo PRS em 5 anos. Mas, pelo PRD o investimento da usina de biogás seria pago em melhores condições com tempo de vida útil de 15 anos, recuperando o valor investido em 10 anos.

Consideraram-se como retorno do projeto apenas os valores tangíveis com a economia de energia elétrica e do GLP gerada pela utilização do biogás, mas, é importante

destacar que, esse projeto apresenta benefícios ao meio ambiente que são imensuráveis. Além de ser um potencial gerador de créditos de carbono, deixando de emitir toneladas CH_4 para a atmosfera e de poluir o solo e os corpos hídricos, melhorando a qualidade ambiental e sanitária das áreas rurais, e que tem retorno econômico.

6 CONCLUSÕES

O volume estimado de resíduos suínos gerados na Agroindústria foi da ordem de 6 m³, sendo caracterizado por fezes, urina, pelos, água da higienização e desperdiçada, e de resíduos de derivados do leite (soro de leite).

A agroindústria requer demanda energética de dois tipos elétrica e térmica, sendo esta última advinda da combustão de lenha e gás GLP. O estudo revelou que, mesmo com a implantação da usina de biogás, esta não atenderá toda a demanda, mas poderá reduzir gastos com os tipos de energia. A potência nominal e a máxima requerida para as atividades domésticas e da suinocultura foram de 11,6 e 15,08 kWh respectivamente, e demanda de gás butano é de um botijão por mês.

O modelo de biodigestor estabelecido e dimensionado que melhor se adequasse a demanda da agroindústria foi o do tipo canadense (leito horizontal), em manta de PVC com câmara de fermentação de 150 m³ para os dejetos líquidos e campânula para biogás com volume de 100 m³. As demais estruturas necessárias também foram devidamente dimensionadas, a exemplo de caixa de entrada, saída, bomba de biogás e tubulações.

Quanto à viabilidade econômica, com um investimento inicial de R\$ 44.068,98 e uma economia anual de R\$ 8.460,00, o investimento nos dois cenários de vida útil de 10 e 15 anos, se pagaria em cinco anos.

Portanto, a instalação da Usina de Biogás apresenta grande potencial de economia energética e sustentabilidade para a agroindústria, comprovando a viabilidade econômica e técnica. Porém, como visto a possibilidade de atendimento total das demandas para a agroindústria em estudo, não será totalmente atendida em virtude do fato da quantidade do rebanho de suínos ainda ser modesto, o que não impede que em situação de criações maiores, o projeto seja readequado e venha a cobrir toda demanda da agroindústria, trazendo ainda mais retorno financeiro e ganhos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOGÁS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS. **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano.** Disponível em <https://media.wix.com/ugd/e3a792_c21f5cd0dafa4a0997ef62fd84d94806.pdf> Acesso: fev. 2017.

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Avicultura e Suinocultura do Brasil: Produção e Exportação; Previsões para 2015 e 2016.** ABPA na Mídia, 2015. Disponível em <<http://abpa-br.com.br/noticia/avicultura-e-suinocultura-do-brasil-producao-e-exportacao-previsoes-para-2015-e-2016-1478>> Acesso: fev. 2017.

ABREU, J. L. S; CANDEIA, R. A. **Biodigestão anaeróbia a partir da mistura de resíduos suínos e lácteos.** In: Congresso de Iniciação Científica da UFCG, 11, 2014, Campina Grande. O Papel da Universidade na Socialização da Ciência e da Tecnologia, Campina Grande, Editora UFCG, 2014.

ABREU, J. L. S; CANDEIA, R. A. **Codigestão anaeróbia com inóculos de meios de cultura em diferentes dejetos.** In: Congresso de Iniciação Científica da UFCG, 13, 2016, Campina Grande. O Papel da Universidade na Socialização da Ciência e da Tecnologia, Campina Grande, Editora UFCG, 2016.

ANGONESE, A. R. et al. **Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 745-750, jul./set. 2006.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; WELTER, R. A. **Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 648-657, 2007.

BARREIRA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011.

BARRETO, A. C.; CAMPOS, A. M. M. **Avaliação de um sistema de irrigação autopropelido aplicando água residuária de suinocultura.** Ciência eAgrotecnologia, Lavras, v. 33, p. 1752-1757, 2009. Edição especial.

BLEY, C. Jr. et al. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais/ 2ª ed. rev. – Fozdo Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas paraAgricultura e Alimentação, 2009.140 p.**

CABRAL, J. R. et al. **Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 823-831, 2011.

CADIS, P.; HENKES, J. A. **Gestão ambiental na suinocultura: sistema de tratamento de resíduos líquidos por unidade de compostagem.** Unoesc & Ciência - ACET, Joaçaba, v. 5, n. 2, p. 169-188, jul./dez. 2014.

CALDARA, F. R. et al. **Behavior, performance and physiological parameters of pigs reared in deep bedding.** Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 38-46, jan./fev. 2012.

CAMPOS, A. T. et al. **Nitrogen fertilization by deep-bedding swine production and its effects on the properties of a quartzarenicneosol**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 756-764, jul./ago. 2012.

CANAL RURAL. **Até 2024, suinocultura brasileira vai crescer 21% Produção deve atingir 4,3 milhões de toneladas**. Canal Rural, 2016. Disponível em <<http://www.canalrural.com.br/noticias/suino/ate-2024-suinocultura-brasileira-vai-crescer-63110>>. Acesso: fev.2017.

CPRM – SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Pombal, estado da Paraíba**. CPRM/PRODEEM. Recife, 2005. 23p.

CHERNICHARO, C. A. DE L. **Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007.

CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária no Brasil. **Ativos da Suinocultura**. Ano 1 - Edição 1 - Maio de 2015.

CORTEZ, L. A. B. et al. **Biodigestão de Efluentes**. In: Biomassa para Energia. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.

DEGANUTTI, R. et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. Campinas: UNICAMP, 2002. Disponível em: <<http://www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2002/0004.pdf>>. Acesso fev. 2017.

DIAS, M. I. A.; COLEN. F.; FERNANDES. L. A.; SOUZA. R. M; BUENO, O. C. **Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da Suinocultura, em substituição a fontes externas de Energia**. Energia na Agricultura, Botucatu, v. 28, n.3, p.155-164, 2013.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. BIPERS, n. 14, p. 29, 2002.

DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. **Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtros anaeróbios em série seguidos de filtros biológico percolador**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 91-100, jan./mar. 2011.

EXAME.COM. **PIB do Agronegócio do Brasil avança 2,45%, diz CNA**. Revista Online Exame.com., Editora Abril, 2016. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/economia/pib-do-agronegocio-do-brasil-avanca-2-45-diz-cna/>>. Acesso: fev.2017.

FAEP. **Uma radiografia da suinocultura paranaense suinocultura**. Boletim Informativo do Sistema FAEP, v. 1107, p. 2–5, ago. 2010.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria**. Belo Horizonte, MG: Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ), 2015.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e Biogás da Suinocultura**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel, PR, 2012. 209 p.

FERREIRA, A. B. de H. **Miniaurélio: o dicionário da língua portuguesa**. 8. ed. Curitiba: Positivo, 2010. 895 p. ISBN 978-85-385-4240-7.

FLORENTINO, H. O. **Mathematical tool to size rural digesters**. *Scientia Agrícola, Piracicaba*, v. 60, n. 1, p. 185-190, 2003.

FNR - FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. **Guia prático do biogás: Geração e utilização**. 5. ed. Gülzow:, 2010.

GARFI, M.; MARTI-HERRERO, J.; GARWOOD, A.; FERRER, I. **Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.60, p. 599-614, 2016.

GAO, W.J.J.; LIN, H.J.; LEUNG, K.T. et al. **Influence of elevated pH shocks on the performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor**. *Process Biochemistry*, Oxford, v.45, n.8, p.1279-1287, aug. 2010.

GUANZIROLI, C. E. **Agroindústria Rural no Brasil: experiências bem e mal sucedidas**. Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Economia. 2010. Disponível em <http://www.uff.br/econ/download/tds/UFF_TD261.pdf> Acesso em: fev. 2017.

HIGARASHI, M. M.; KUNZ, A.; MATTEI, R. M. **Aplicação de adsorção para remover amônia de efluentes suínolas pré-tratados**. *Química Nova*, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1156-1160, 2008.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário de 2006**. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso: fev. 2017.

IDEME - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL E ESTADUAL. **Produto interno Bruto do Estado da Paraíba e de seus Municípios 2010-2013**. IDEME. João Pessoa, PB, 2016. 65 p.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA E ECONOMIA APLICADA. **O Perfil da Agroindústria Rural no Brasil Uma análise com base nos dados do Censo Agropecuário 2006**. Relatório de Pesquisa, IPEA. Brasília, 2013. 86p.

_____. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília – DF, 2012. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf. Acesso em maio 2016.

JACOB, S.; BANERJEE, R. **Modeling and optimization of anaerobic codigestion of potato waste and aquatic weed by response surface methodology and artificial neural network coupled genetic algorithm**. *Bioresource Technology*, v 214, p. 386-395, 2016.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado**. 2014. 55 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014.

- KONZEN, E. A. **Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola.** In: SIMPÓSIO GOIANO DE SUINOCULTURA, 2., 2005, Goiânia. Seminários técnicos de suinocultura. Goiânia: Avesui Centrooeste, 2005. p. 56 - 64
- KOZIOSKI, G. V.; CIOCCA, M. L. S. **Energia e sustentabilidade em agroecossistemas.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 737-745, 2000.
- KUNZ, A. et al. **Effect of storage time on swine manure solid separation efficiency by screening.** Bioresource Technology, Oxford, v. 100, n. 5, p. 1815-1818, 2009.
- KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil.** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.
- LEUNG, D. Y. C.; WU, X.; LEUNG, M. K. H. **A review on biodiesel production using catalyzed transesterification.** Applied Energy v.87, p. 1083–1095, 2010.
- LUCAS JÚNIOR, J. **Potencial de geração de biogás dos resíduos animais: perspectivas.** In: Simpósio Internacional Sobre Gerenciamento De Resíduos De Animais, 1., 2009, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SBERA, 2009.
- MARSDEN, T. et al. **Constructing the countryside.** São Francisco; Oxford: Westview Press, 1992.
- MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. DE. **Análise Econômica na Geração de Energia Elétrica a partir do biogás na suinocultura.** Engenharia Agrícola, v. 31, n. 3, p. 477–486, 2011.
- MASSÉ, D. et al. **Methane yield from switchgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada.** Bioresource Technology, Oxford, v. 101, n. 24, p. 9536-9541, Dec. 2010.
- MATTOS, L. C. **Manual do biodigestor sertanejo.** Projeto Dom Helder Câmara Recife, 2011. 55 p.
- MOURA, E. M. **Avaliação da disponibilidade hídrica e da demanda hídrica no trecho do Rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-Mãe d'Água e Armando Ribeiro Gonçalves.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, 2007. 140p.
- OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1993.188p.
- ORRICO JUNIOR, M. A. P. **Biodigestão anaeróbia dos dejetos de suínos e bovinos e utilização do biofertilizante no capim-piatã.** 2011. 99f. Tese. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal-SP.

PRADO, M. A. C.; CAMPOS, C. M. M.; SILVA, J. F. **Estudo da variação da concentração de metano no biogás produzido a partir de águas residuárias do café.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 34, n. 2, p. 475-484, mar./abr. 2010.

RAPPAPORT, Roy A. **Natureza, cultura e antropologia ecológica.** In: SHAPIRO, Harry L.(Org.). Homem, cultura e sociedade. São Paulo: Martins Fontes, 1982, p. 251-282.

RIBEIRO, D. S, et al. **Determinação das Dimensões de um Biodigestor em Função da Proporção Gás/Fase Líquida.** Revista Holos, ano 27, vol. 1. 2011.

RICARDO, C. M. **Avaliação econômica de biodigestor de fluxo tubular, com sistema de recirculação, no tratamento de dejetos de suínos.** 2012. 71p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RODRIGUES, A. F. S.; FONSECA, D. S.; HIDER, M.; PARAHYBA, R. E.; CAVALCANTE, V. M. M. **Agrominerais: recursos e reservas.** In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Eds.). Agrominerais para o Brasil. CETEM, 2010.

SANEGO – SANEAMENTO DE GÓIAS. **Relatório sintético de composições unitárias (construção civil) - adaptado ao SINAPI.** SANEGO. Goiânia, GO. 2015. 11p

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e Números do Brasil Florestal.** SBS. São Paulo, SP, 2008. 80p.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução.** Porto Alegre: Agropecuária, 1983. 88 p.

SILVA, F. P. **Eficiência energética de uma unidade de microgeração de energia elétrica a partir do biogás da suinocultura.** 2015. 60p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura. Cascavel, 2015. 60 p.

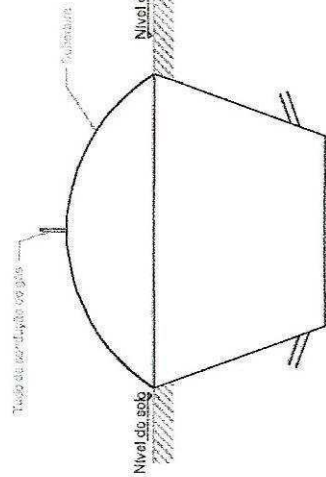
SOUZA, S. N. M. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel – PR, 2016. 47p.

TRICHES, G. P. **A suinocultura e o desenvolvimento regional: o caso do alto vale do Itajai - SC.** 2003. 108p. Dissertação em Desenvolvimento Regional. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC.

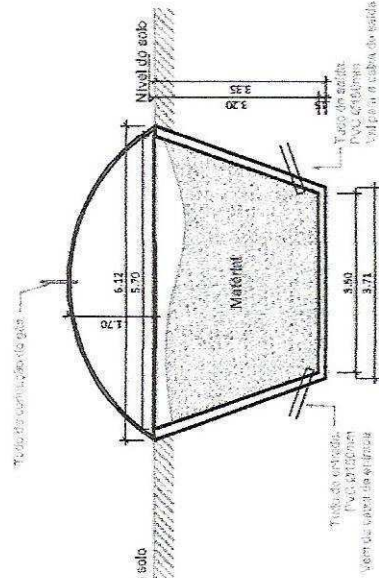
VELOSO, A. V. **Análise ambiental e energética de sistema de produção de suínos com tratamento de dejetos em biodigestor.** Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2014. 192p.

WINROCK – INSTITUTO WINROCK. **Manual de Treinamento em Biodigestão.** Bahia, 2008. 23p.

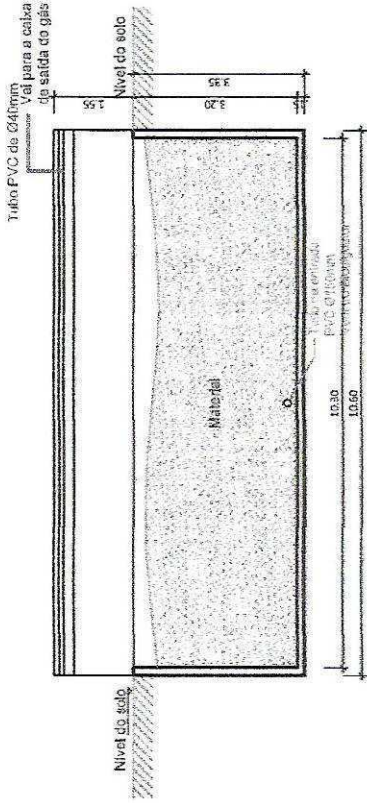
WU, X. et al. **Biogas and CH₄ productivity by co-digesting swine manure with three crop residues as an external carbon source.** Bioresource Technology, Oxford, v. 101, n. 11, p. 4042-4047, June 2010.



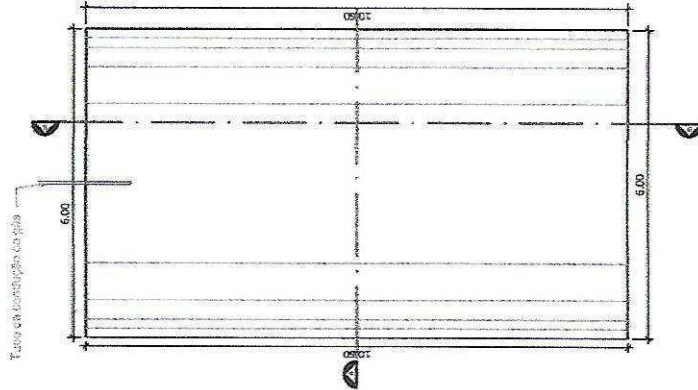
1 VISTA FRONTAL
P.01 ESCALA INDICADA



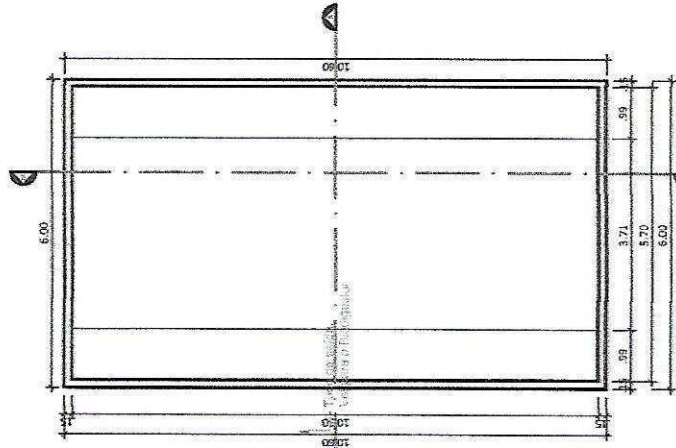
1 CORTE AA
P.01 ESCALA INDICADA



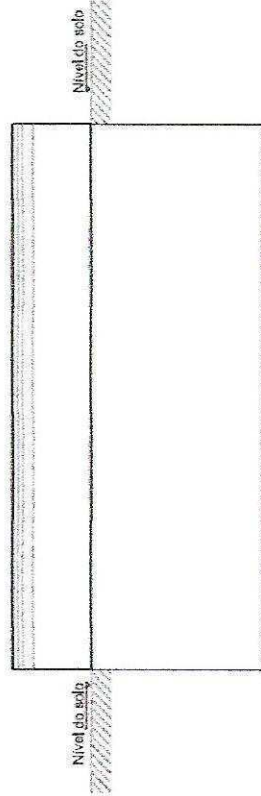
1 CORTE BB
P.01 ESCALA INDICADA



1 PLANTA DE COBERTURA
P.01 ESCALA INDICADA



1 PLANTA BAIXA
P.01 ESCALA INDICADA

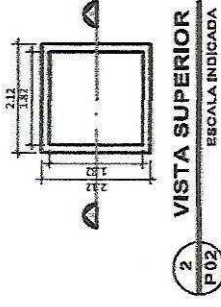
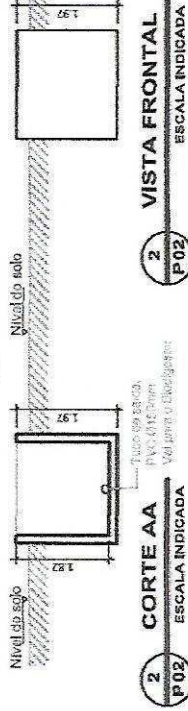
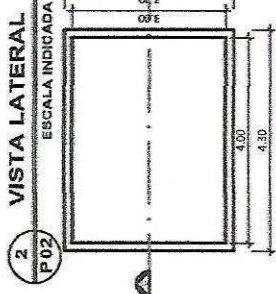
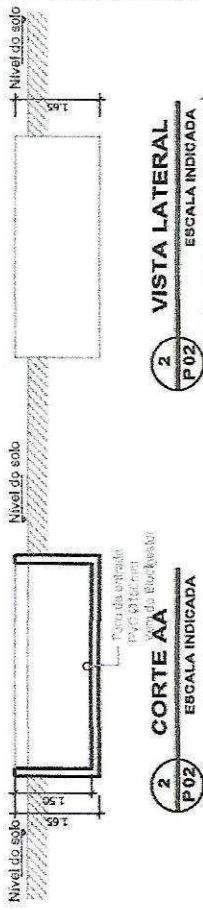
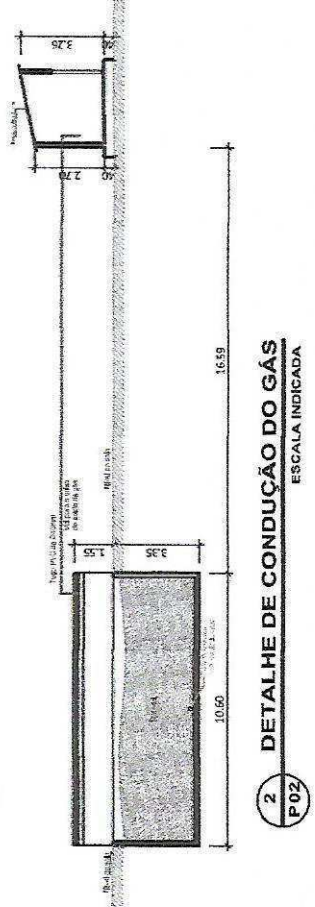
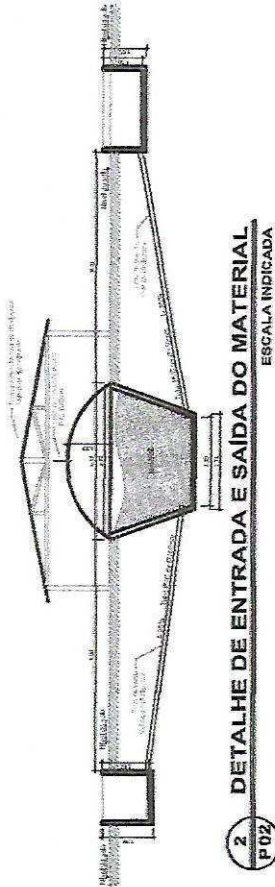
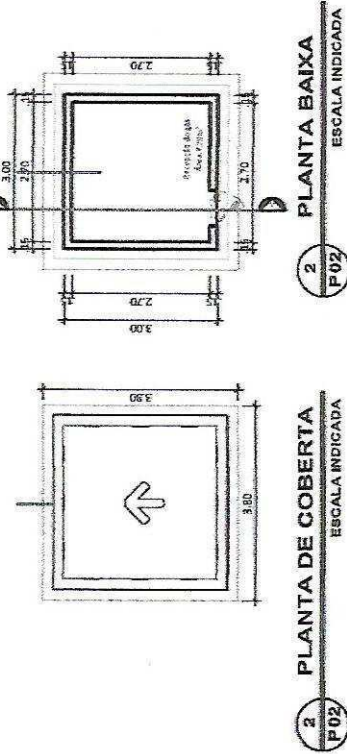
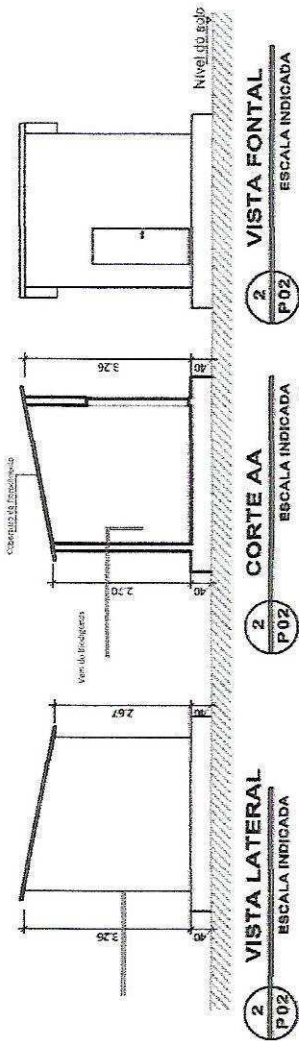



1 VISTA LATERAL
P.01 ESCALA INDICADA



Universidade Federal de Campina Grande
CAMPUS POMBAL
ENGENHARIA AMBIENTAL

Prancha N°: 01/03	Projeto: eloblogestor	Informações Técnicas: DIMENSIONAR: CAIXA DE ENTRADA: volume: 0,00 m³ CAIXA DE SAÍDA: volume: 0,00 m³ CAIXA DE ENTRADA: área: 1,0,0 m²	CREA:
	Conteúdo: INDICACO		
Escala: 1/100	Data: MAR/2017		





Universidade Federal de Campina Grande
CAMPUS POMBAL
ENGENHARIA AMBIENTAL

Projeto: BIODIGESTOR

Francha N°: 02/03

Conteúdo: INDICACAO

Escala: 1/100

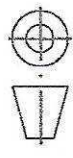
Data:

Responsável Técnico: José Lucas Souza Abreu

CREA:

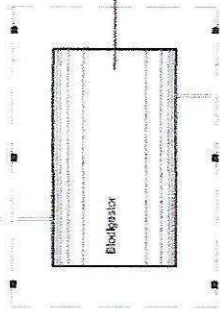
Informações Técnicas:

BIODIGESTOR:
volumet: 150,0m³
volumet: 150,0m³
volumet: 8,0m³
CAIXA DE SAÍDA:
capacidade: 8,0m³
capacidade: 8,0m³
área: 15,0m²





Calka de entrada



Recepção ao dia



Recepção ao dia

3
P03
DETALHE DE LOCAÇÃO
ESCALA 1/2500

3
P03
DETALHE DE LOCAÇÃO
ESCALA 1/2500

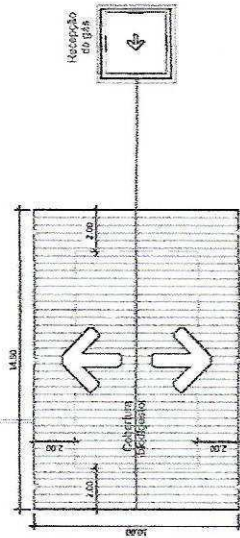
3
P03
DETALHE DE LOCAÇÃO
ESCALA 1/2500



Calka de saída



Calka de entrada



Recepção ao dia



Recepção ao dia

3
P03
DETALHE DE LOCAÇÃO
ESCALA 1/2500

3
P03
DETALHE DE LOCAÇÃO
ESCALA 1/2500

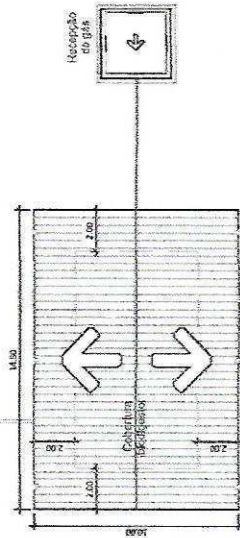
3
P03
DETALHE DE LOCAÇÃO
ESCALA 1/2500



Calka de saída



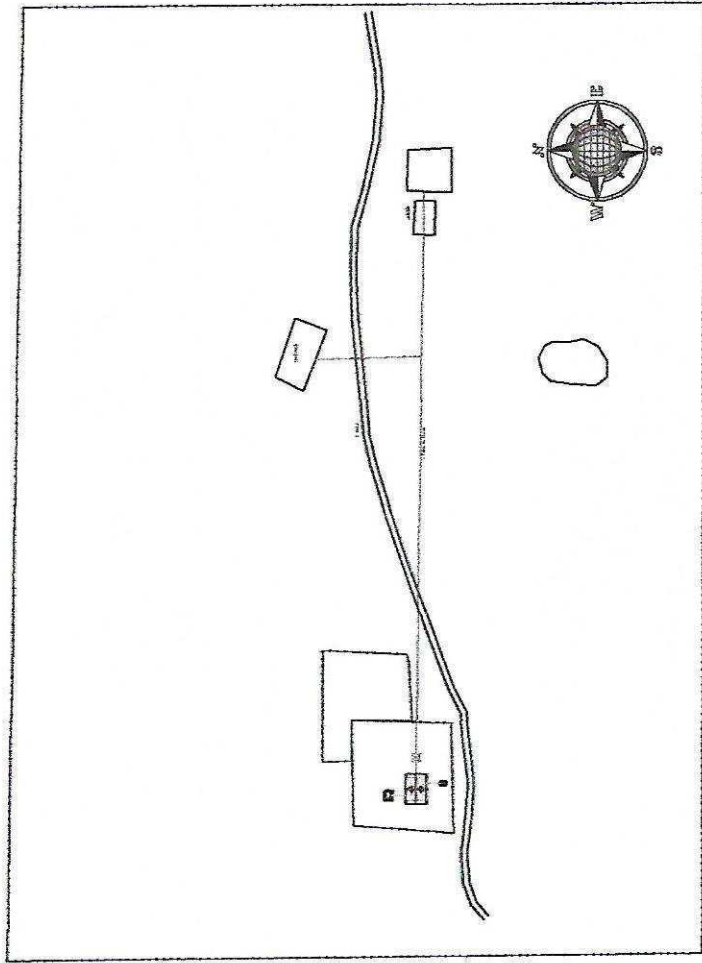
Calka de entrada



Recepção ao dia



Recepção ao dia



3
P03
PLANTA DE LOCALIZAÇÃO
ESCALA 1/2500



Universidade Federal de Campina Grande
CAMPUS POMBAL
ENGENHARIA AMBIENTAL

Francha N°: 03/03	Projeto: BIOLOGISTOR
Conteúdo: INDICACO	
Escala: INDICADA	Data:

Informações Técnicas:	
BIOLOGISTOR: Volume: 150,0m³ Capacidade: 1000kg	CAIXA DE SÁBÃO: Volume: 18,00m³ Capacidade: 100kg
Área: 16,0m²	
Responsável Técnico: José Lucas Souza Abreu	
CREA:	

