

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
MARINA LACERDA RESENDE

DIMENSIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR PARA O TRATAMENTO DE
DEJETOS BOVINOS EM UMA FAZENDA DA ZONA RURAL DE
LAGOA DA PRATA – MG

FORMIGA – MG
2017

MARINA LACERDA RESENDE

DIMENSIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR PARA O TRATAMENTO DE
DEJETOS BOVINOS EM UMA FAZENDA DA ZONA RURAL DE
LAGOA DA PRATA - MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Química do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva

FORMIGA – MG

2017

R433

Resende, Marina Lacerda.

Dimensionamento de um biodigestor para o tratamento de dejetos bovinos em uma fazenda da zona rural de Lagoa da Prata-MG / Marina Lacerda Resende. – 2017.

53 f.

Orientador: Rodrigo Duarte Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Dejetos bovinos. 2. Biodigestores. 3. Dimensionamento. I. Título.

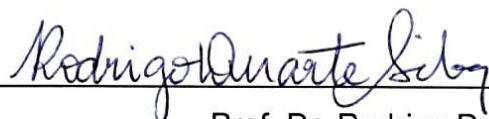
CDD 665.776

Marina Lacerda Resende

DIMENSIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR PARA O TRATAMENTO DE
DEJETOS BOVINOS EM UMA FAZENDA DA ZONA RURAL DE
LAGOA DA PRATA - MG

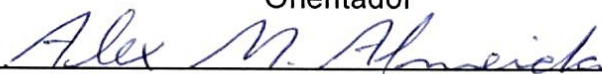
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva

Orientador



Prof. Dr. Alex Magalhães de Almeida

UNIFOR-MG



Prof. Me. Fernando César Silva Lage

UNIFOR-MG

Formiga, 30 de outubro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre iluminar o meu caminho e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus pais, pelo exemplo de vida, amor incondicional, palavras de carinho, votos de confiança, incentivo, valores, educação e tudo que fizeram e fazem por mim.

À minha irmã Rafa e minha prima-irmã Bruninha, pela companhia, amor, amizade e incentivo.

À minha vó pelas inúmeras orações, por todo amor e por me ensinar a superar as dificuldades.

Ao tio Marcelo, por me ensinar o valor da vida e mostrar que devemos acreditar nos desígnios de Deus e sempre querer o bem das pessoas.

Aos meus tios, tias, primos e primas por acreditarem no meu sucesso e por estarem ao meu lado compartilhando alegrias e tristezas, lutas e vitórias.

Aos meus amigos pelo apoio, incentivo e credibilidade durante todo o curso.

A todos os meus professores, pela dedicação e contribuições para a minha formação.

A todos que torceram por mim e fizeram parte desta conquista. Muito obrigada!

RESUMO

Os resíduos da produção animal constituem um problema expressivo na área rural. Quando lançados diretamente no meio ambiente, sem passar por um tratamento adequado, os dejetos causam impactos ambientais e conseqüentemente prejudicam a saúde e o bem-estar do ser humano. Existem diferentes tecnologias para o tratamento de dejetos de animais; dentre elas, o biodigestor é uma das mais utilizadas. Além disto, ele constitui um instrumento de sanitização dentro da propriedade rural. O biodigestor é uma câmara de fermentação fechada na qual os dejetos (biomassa) sofrem digestão por bactérias anaeróbicas resultando na produção de biogás. Diante da crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, a implantação de um tratamento adequado para os dejetos oriundos da produção animal torna-se evidente. Além do mais, o biogás produzido durante a biodigestão pode ser utilizado para geração de energia elétrica, o que viabiliza os investimentos necessários para implantação do sistema de tratamento de dejetos e traz economia para o produtor rural. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta alguns dos tipos de biodigestores, suas principais características e o dimensionamento de um biodigestor modelo canadense para tratar os dejetos bovinos gerados em uma fazenda de porte médio da zona rural de Lagoa da Prata/MG, a qual possui um rebanho de 112 vacas em lactação da raça holandesa, que produzem, em média, 2.800 kg de dejetos diariamente. Esta quantidade de dejetos tratada em um biodigestor pode gerar 112 m³ de biogás, o que corresponde a aproximadamente 160 kWh de energia elétrica.

Palavras-chave: Dejetos bovinos. Biodigestores. Dimensionamento.

ABSTRACT

Waste from animal production is a significant problem in rural areas. When released directly into the environment, without being treated properly, the wastes cause environmental impacts and consequently damages to the health and welfare of the human being. There are different technologies for the treatment of animal waste; among them the biodigester is one of the most used. Moreover, it constitutes a sanitizing instrument within the rural property. The biodigester is a closed fermentation chamber where waste (biomass) undergoes digestion by anaerobic bacteria which produces biogas. The environmental importance of implementing an appropriate treatment for waste is evident and in the case of a biodigester, the biogas produced can be converted into energy allowing the rural producer to make profit. In this context, the present work presents some of the types of biodigesters and their main characteristics. In addition, a Canadian biodigester was designed to treat wastes from a medium size farm in the rural area of Lagoa da Prata/MG (Brazil), which has a herd of 112 lactating Dutch breed cows, which daily produce on average 2.800 kg of waste. This quantity of waste treated in a biodigester could generate 112 m³ of biogas, which corresponds to approximately 160 kWh of electrical energy.

Keywords: Bovine waste. Biodigesters. Design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Esgotamento Sanitário em municípios rurais por Região Geográfica.....	16
Figura 1 – Sequência metabólica envolvida na digestão anaeróbia.....	21
Figura 2 – Biodigestor batelada.....	25
Figura 3 – Biodigestor indiano.....	26
Figura 4 – Biodigestor chinês.....	28
Figura 5 – Biodigestor canadense.....	29
Figura 6 – Curral da fazenda.....	39
Figura 7 – Vista aérea da propriedade/local da possível instalação do biodigestor ..	43
Figura 8 – Corte com as dimensões do biodigestor (em cm) ..	44
Figura 9 – Representação do biodigestor dimensionado para a propriedade em estudo ..	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentual de domicílios com rede geral de abastecimento de água e rede coletora de esgoto, segundo as Grandes Regiões	14
Tabela 2 – Desempenho de biodigestores modelo Indiano e Chinês	28
Tabela 3 – Equações para cálculo das dimensões do biodigestor.....	37
Tabela 4 – Quantidade de energia elétrica gasta diariamente na fazenda	41
Tabela 5 – Parâmetros pré-dimensionais.....	42
Tabela 6 – Dimensões para a construção do biodigestor	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivo Geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1	Importância da preservação do meio ambiente	12
3.2	Saneamento básico – dados estatísticos.....	14
3.3	Resíduos sólidos.....	17
3.3.1	Dejetos de animais, impactos ambientais e tratamento	18
3.4	Biodigestão anaeróbia – uma alternativa para o tratamento de dejetos de animais.....	21
3.5	Biodigestor	23
3.5.1	Biodigestor Indiano.....	26
3.5.2	Biodigestor Chinês.....	27
3.5.3	Biodigestor Canadense	28
3.6	Escolha e dimensionamento de um biodigestor	30
3.6.1	Dimensionamento de um biodigestor modelo indiano	32
3.6.2	Dimensionamento de um biodigestor modelo canadense	36
4	METODOLOGIA	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A degradação e as modificações ambientais causadas por ações antrópicas ocasionam sérios problemas, como a poluição, a contaminação de rios, a falta de água, a destruição da camada de ozônio e a intensificação do aquecimento global, que provoca o derretimento das calotas polares. As atividades agropecuárias e a ausência de saneamento básico podem ocasionar algumas destas mudanças negativas no meio ambiente (PHILIPPI; MALHEIROS, 2005; IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Os resíduos da produção animal constituem um problema expressivo na área rural. Quando lançados diretamente no meio ambiente, sem passar por um tratamento adequado, os dejetos irão contaminar o solo, atingir águas subterrâneas e propiciar a formação de elevadas concentrações de nitrato, o que pode causar eutrofização (excesso de nutrientes) dos corpos d'água superficiais. A emissão dos gases gerados também constitui um impacto ambiental, devido ao seu mau cheiro, o que diminui o conforto e a saúde dos trabalhadores, e pelo fato desses gases contribuírem consideravelmente para o agravamento do aquecimento global (CAMPOS, 2012; FERREIRA, 2013).

Atualmente, existem diferentes tecnologias para o tratamento de dejetos de animais. Porém os sistemas biológicos ainda são os mais utilizados em função da alta biodegradabilidade do material orgânico em questão. Particularmente, a biodigestão anaeróbia é uma das alternativas para o tratamento destes dejetos. Em decorrência da ausência de oxigênio e do elevado valor de pH é praticamente impossível a sobrevivência de patógenos (microrganismos que causam doenças) no efluente de um biodigestor. Dessa forma, os biodigestores constituem um instrumento de sanitização dentro da propriedade rural (GEBLER; PALHARES, 2007; FERREIRA, 2013).

Diante do exposto, é visível a importância da implantação de um tratamento adequado para os dejetos oriundos da criação de animais. No presente trabalho são apresentados alguns dos tipos de biodigestores utilizados para o tratamento de dejetos de animais. Em seguida, foi realizado o dimensionamento de um biodigestor com base nos dados de uma fazenda de porte médio da zona rural de Lagoa da Prata/MG, a qual possui um rebanho constituído por 112 vacas em lactação da raça holandesa, que produzem, em média, 2800 kg de dejetos diariamente. Finalmente,

foi estimada a quantidade de biogás que seria produzida e a, a partir desta, a quantidade de energia elétrica que poderia ser gerada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de dimensionar um biodigestor para o tratamento de dejetos provenientes de gado leiteiro gerados em uma fazenda de porte médio da zona rural de Lagoa da Prata/MG.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- Realizar um diagnóstico da situação atual do Brasil com relação ao saneamento ambiental na zona rural;
- Descrever os diferentes modelos de biodigestores disponíveis para o tratamento de dejetos animais;
- Apresentar as etapas do dimensionamento de um biodigestor;
- Dimensionar um biodigestor para um caso específico (uma fazenda com um rebanho de 112 vacas em lactação da raça holandesa, que produzem em média 2.800 kg de dejetos diariamente).
- Estimar a quantidade de energia elétrica que poderia ser gerada a partir do biogás produzido no biodigestor.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Importância da preservação do meio ambiente

Nos primórdios da humanidade, o homem utilizava o meio ambiente para a sua sobrevivência. A água, a fauna e a flora eram suas únicas fontes de sustento, as quais proporcionavam-lhe melhores condições de vida e possibilitavam-lhe o desenvolvimento de suas atividades cotidianas. Com o passar do tempo, os recursos naturais se transformaram em fontes de poder e lucro para o homem, que passou a explorá-los sem qualquer preocupação com o seu esgotamento e com o impacto deste no futuro da humanidade (ROVERSI, 2013).

Com o processo de industrialização e o conseqüente desenvolvimento econômico, o homem intensificou a exploração dos recursos naturais, que passou a ser realizada de forma poluidora e degradadora, sem se preocupar com a preservação do meio ambiente. Os resíduos produzidos pelas indústrias e pela população eram simplesmente jogados em lagoas, rios e riachos, acarretando não apenas prejuízos ambientais, mas prejuízos à saúde do homem (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

A atividade agropecuária, a ocupação de margens de rios, o lançamento de resíduos em cursos d'água e terrenos vazios, a ausência de saneamento básico e a emissão de gases poluentes são algumas das ações responsáveis por mudanças negativas e significativas no meio ambiente (PHILIPPI; MALHEIROS, 2005, p. 3).

As degradações e modificações ambientais causadas por ações antrópicas ocasionaram sérios problemas como: contaminação de rios, falta de água, desmatamento, aquecimento global, destruição da camada de ozônio, derretimento das calotas polares e poluição, além de aumentar o risco de exposição a doenças, impactando negativamente a qualidade de vida da população (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Devido aos altos níveis de estresse ambiental existentes em determinadas áreas do planeta, aos poucos, foi surgindo a percepção de que o meio ambiente precisava ser preservado. Assim, começaram a ser criadas leis para proteger os elementos ambientais e orientar o homem quanto à sua correta utilização. Na década de 1950, foi iniciado um movimento mundial focando na relação do ser humano com o ambiente (GEBLER; PALHARES, 2007; ROVERSI, 2013).

A I Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, realizada na Suécia em 1972, conhecida como Conferência de Estocolmo, marcou o início de uma nova era na defesa e proteção do meio ambiente. Sob a influência desta Conferência, surgiram no Brasil novas políticas ambientais como a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), a destinação de um capítulo específico sobre Meio Ambiente na Constituição Federal de 1988, a edição da Lei de Crimes Ambientais, entre outras (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009).

Em 2007, a Lei nº 11.445, marco legal da política de saneamento no Brasil, estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Com base no marco legal, em 2013 foi sancionado o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), que estabeleceu diretrizes, metas e ações de saneamento básico para o país nos 20 anos que se seguiam. O plano previa alcançar 99% de cobertura no abastecimento de água potável (100% na área urbana) e de 92% no esgotamento sanitário (93% na área urbana), bem como a universalização da coleta de resíduos sólidos na área urbana e a eliminação de lixões ou vazadouros a céu aberto em todo o país (BRASIL, 2015).

A conscientização ambiental da população e a busca pelo desenvolvimento sustentável (desenvolvimento de toda e qualquer atividade integrando a proteção do meio ambiente) é essencial para garantir a qualidade de vida. O desenvolvimento sustentável pressupõe o atendimento às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras terem suas próprias necessidades atendidas (PHILIPPI; MALHEIROS, 2005, p. 3).

A busca da sustentabilidade pelos vários setores da agropecuária é uma prática cada vez mais frequente no Brasil. Contudo, um dos grandes limitantes para se atingir a sustentabilidade é a conciliação dos interesses econômicos com as vantagens socioambientais. Uma forma de conciliar esses interesses é a implantação de sistemas de biodigestão para o tratamento de dejetos animais (bovinos, suínos, aves, dentre outros) que, se bem monitorados e executados, podem trazer um retorno financeiro em poucos anos devido à economia de energia elétrica, térmica e/ou de combustível. Porém muitas vezes um pequeno produtor rural carece de recursos para o investimento inicial necessário para a realização do projeto (GEBLER; PALHARES, 2007).

3.2 Saneamento básico – dados estatísticos

O saneamento básico é definido como o conjunto de medidas adotadas para melhorar a vida e a saúde dos habitantes, impedindo que fatores nocivos possam prejudicar as pessoas no seu bem-estar físico, mental e social. É um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem das águas pluviais e manejo dos resíduos sólidos e águas pluviais (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015; SILVA, 2014). A falta de saneamento pode provocar uma série de doenças no ser humano, principalmente em crianças e idosos, levando-os, inclusive, à morte. As doenças são causadas pelo uso ou ingestão de água contaminada e pelo contato da pele com o solo e lixo contaminados (SILVA, 2014).

Em 2015, 58,1 milhões ou 85,4% do total de unidades domiciliares do país eram atendidas pela rede geral de abastecimento de água e 65,3% dos domicílios dispunham de serviço de rede coletora de esgoto. Analisando individualmente as regiões do Brasil, percebe-se um desequilíbrio entre elas: o Norte, por exemplo, apresenta 63,5% de abastecimento de água, já o Sudeste 92,2%. Para o serviço de coletora de esgoto este desequilíbrio é ainda maior, com apenas 22,6% de serviço de rede coletora de esgoto no Norte e 88,6% no Sudeste (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2015).

A TAB. 1 mostra o percentual de domicílios com rede geral de abastecimento de água e rede coletora de esgoto, em cada uma das regiões do Brasil.

Tabela 1 – Percentual de domicílios com rede geral de abastecimento de água e rede coletora de esgoto, segundo as Grandes Regiões

GRANDES REGIÕES	ABASTECIMENTO DE ÁGUA	SERVIÇO DE REDE COLETORA DE ESGOTO
Brasil	85,4	65,3
Norte	63,5	22,6
Nordeste	79,7	42,9
Sudeste	92,2	88,6
Sul	88,3	65,1
Centro-Oeste	85,7	53,2

Fonte: Adaptado, IBGE, Pesquisa nacional por amostras de domicílios – Síntese de indicadores 2015.

Em relação à geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais ABRELPE (2015), anualmente são gerados 79,9 milhões de toneladas. A comparação entre a quantidade de RSU gerada e o montante coletado resulta em um índice de cobertura de coleta de 90,8% para o país, o que leva a cerca de 7,3 milhões de toneladas de resíduos sem coleta, conseqüentemente, com destino impróprio.

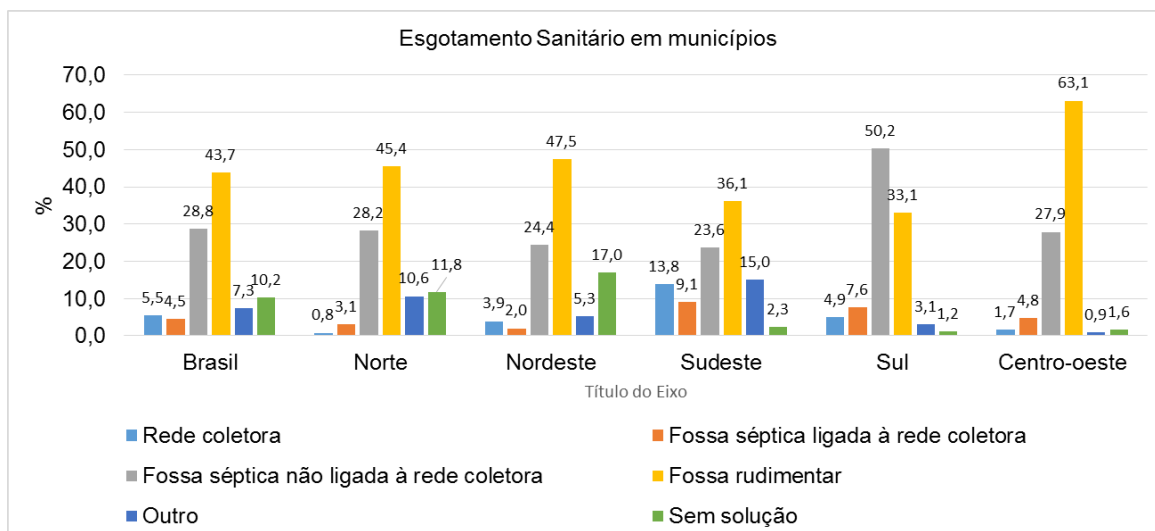
Segundo o censo demográfico realizado pelo IBGE, em 2010 o Brasil tinha mais de 190 milhões de pessoas. Desse total, aproximadamente 160 milhões distribuíam-se em áreas urbanas e 30 milhões em áreas rurais. Apesar da população rural ser menor, isso não deve atenuar a atenção e a necessidade de um saneamento adequado.

Com base no Plano Brasil sem Miséria, instituído pelo Decreto nº 7.492/2011, e no Censo/2010, a população total em extrema pobreza no Brasil era de 16,2 milhões de habitantes. Deste total, praticamente a metade encontrava-se no meio rural (7,6 milhões de habitantes), o que corresponde a 25% do total da população rural do Brasil (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA), 2017).

Conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD/2015), os serviços de saneamento prestados à área rural apresentam elevado déficit de cobertura. Apenas 34,51% dos domicílios rurais estão ligados a redes de abastecimento de água com ou sem canalização interna. O restante, (66,6% da população) capta água de chafarizes, poços, diretamente de cursos de água ou de outras fontes alternativas (FUNASA, 2017).

Em relação ao esgotamento sanitário (GRAF. 1), o déficit de cobertura é ainda menor, apenas 5,5% dos domicílios estão ligados à rede de coleta de esgotos e 33,3% possuem fossa séptica (ligada ou não à rede coletora). Fossas rudimentares e outras soluções, são adotadas por 43,7 e 7,3% dos domicílios rurais, respectivamente. Destaca-se que na sua maioria, essas soluções são inadequadas para o destino dos dejetos, como as fossas rudimentares, valas, despejo do esgoto bruto diretamente nos cursos d'água e 10,2% dos domicílios não dispõem de nenhuma solução (FUNASA, 2017).

Gráfico 1 – Esgotamento Sanitário em municípios rurais por Região Geográfica



Fonte: Adaptado, FUNASA – Panorama do Saneamento Rural no Brasil, 2017.

A Embrapa, com o objetivo de reduzir a ocorrência de doenças, promover a preservação do meio ambiente e melhorar a qualidade de vida, vem desde o ano 2000 desenvolvendo tecnologias na área de Saneamento Básico Rural, como, por exemplo, a fossa séptica biodigestora, o clorador e o jardim filtrante (SILVA, 2014).

O Plano Plurianual de Governo (PPA 2016-2019), estabeleceu que o Ministério da Saúde deveria apoiar os estados e municípios na implementação de medidas estruturais e estruturantes em áreas rurais e comunidades tradicionais, assegurando as ações e serviços públicos de saneamento básico, e também na formulação e implementação do Plansab. No exercício de suas atribuições o Ministério da Saúde delegou esta competência à Fundação Nacional de Saúde – Funasa (FUNASA, 2017).

Em fevereiro de 2015, a Funasa firmou uma parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para o desenvolvimento de estudos relacionados ao panorama do saneamento rural no Brasil. Foram propostas diretrizes para o PNSR (Programa Nacional de Saneamento Rural) nos três eixos: tecnologia; gestão, educação e participação social; metas de curto, médio e longo prazo para o saneamento rural; o detalhamento dos investimentos necessários, por região geográfica e unidades da Federação; propostas de gestão do PNSR (forma de implementação, monitoramento e avaliação das ações são os estudos realizados) (FUNASA, 2017).

3.3 Resíduos sólidos

A poluição é causada por diferentes produtos ou substâncias, dentre os quais destacam-se os resíduos sólidos, que quando jogados no solo, água e ar, alteram o meio ambiente, degradando sua qualidade e resultando em prejuízos aos seres vivos. Tais produtos apresentam grande diversidade e complexidade. Suas características variam de acordo com a sua fonte ou atividade geradora (CASTILHO JUNIOR, 2006; ROVERSI, 2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da norma NBR 10.004:2004 define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR 10004, 2004).

Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto ao local ou atividade em que a geração ocorre, como: urbanos (gerado nas residências, comércios em geral, limpeza pública urbana, terrenos, córregos, praias, feiras, podas e capinação); industriais (gerados nos diversos tipos de indústrias de processamentos); resíduos de serviços de saúde (produzidos em hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, centros de saúde e consultórios odontológicos); resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários (materiais de higiene e de asseio pessoal, restos de alimentos); resíduos agrícolas (gerados em atividades da agricultura e da pecuária); entulho (oriundos da construção civil) e resíduos radioativos (provenientes dos combustíveis nucleares) (SCHALCH, 2002).

A questão dos resíduos sólidos é um problema de saúde pública, que envolve questões de interesse coletivo. O descarte incorreto de resíduos pode provocar a poluição do solo, do ar e da água, oferecer alimento e abrigo para muitos vetores de doenças, além de formação de lixiviados que podem levar à contaminação do solo e de águas subterrâneas (PHILIPPI; AGUIAR, 2005; CASTILHO JUNIOR, 2006).

O manejo inadequado de resíduos sólidos de qualquer origem gera desperdícios, ameaça à saúde pública e agrava a degradação ambiental, comprometendo a qualidade de vida da população. Assim, é evidente a necessidade do gerenciamento de resíduos. O conhecimento das características e da classificação dos resíduos sólidos é um dos subsídios para traçar as estratégias de gerenciamento (SCHALCH, 2002; CASTILHO JUNIOR, 2006).

O gerenciamento dos resíduos sólidos consiste no conjunto de ações, diretas ou indiretas, que envolve as etapas de coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente correta dos resíduos sólidos e dos rejeitos. Quando implantado corretamente, minimiza possíveis impactos ambientais e prejuízos à saúde pública (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Quanto aos resíduos sólidos produzidos na zona rural, uma parte é formada pelos resíduos domiciliares, enquanto a outra é constituída por insumos, subprodutos, restos de produção agrícola, restos de rações e suplementos de alimentação animal, dejetos animais e entulho de construção civil (RENL et al., 2011 apud RENK, 2012).

3.3.1 Dejetos de animais, impactos ambientais e tratamento

Os resíduos gerados na criação de animais variam com a espécie animal, alimentação, forma de manejo dos resíduos, entre outras. Bovinos de leite, por receberem maior quantidade de alimentos, produzem maior quantidade de fezes que os de corte, estando essa produção na faixa de 7-8% de sua massa corporal (MATOS, 2014).

As características e tendências dos sistemas produtivos modernos apontam para um modelo de confinamento em unidades restritas com aumento da escala de produção. Em muitos casos isso gera grandes problemas ambientais nas regiões produtoras devido à grande quantidade de dejetos produzidos diariamente em uma área reduzida, que na maioria dos casos, é simplesmente disposto no solo. Considerando uma base de 450 kg de peso vivo, as criações, produzem as seguintes quantidades médias anuais de esterco: 8,5 toneladas para bovinos de corte, 12 toneladas para bovinos de leite, 6 toneladas para ovinos, 16 toneladas para suínos, 8 toneladas para equinos e 4,5 toneladas para aves (frangos) (MATOS, 2014; ENSMINGER, 1990 apud FERREIRA, 2013).

Um sistema de confinamento de vacas leiteiras – com 100 animais, considerando-se o peso de cada animal em torno de 600 kg – produz, em média, 50 kg/dia de esterco por animal. Acrescentando-se a esse volume, a urina, a água de bebida desperdiçada, água de lavagem da ordenha, etc., pode-se estimar a produção de até 100 kg/dia de dejetos, o que totaliza aproximadamente 10.000 kg/dia (10 m³/dia) (MATOS, 2014).

É comum em propriedades rurais que possuem simultaneamente agricultura e pecuária como atividades econômicas, a aplicação contínua dos dejetos (compostos por uma mistura de água, fezes, urina e restos de ração) no solo, como fonte de suprimento de nutrientes para as culturas. Essa prática pode ocasionar a poluição do ambiente, tendo em vista que quando se tem um excesso de elementos no solo (nutriente, metais, patógenos entre outros), sua absorção torna-se difícil, acarretando a lixiviação e/ou percolação desses resíduos para os corpos d'água superficiais e subterrâneos. Os dejetos de bovinos, quando utilizados na adubação de lavouras e pastagens em seu estado natural, sem nenhum tratamento prévio possibilita a continuidade do ciclo biológico de patógenos como a *Escherichia coli* e de diversos nematódeos gastrintestinais. Em muitos países, os efluentes oriundos da produção animal já são a principal fonte de poluição dos recursos hídricos, superando os índices das indústrias (CAMPOS, 2012; FERREIRA, 2013).

A emissão dos gases gerados também é um dos impactos ambientais ocasionados pelos dejetos. Os principais gases emitidos pelos sistemas de criação e tratamento dos dejetos são dióxido de carbono, metano e os gases nitrogenados como a amônia, óxido nitroso e nitrogênio. Tais gases ocasionam mau cheiro, diminuem o conforto e a saúde dos trabalhadores e contribuem significativamente para o agravamento do aquecimento global (OLIVEIRA, 2003 apud FERREIRA, 2013).

O manejo e o tratamento dos dejetos devem ser vistos como parte do processo produtivo. Sempre há uma alternativa mais adequada para manejar os dejetos de determinado sistema de produção. Para cada caso, é preciso planejar os melhores métodos de tratamento e aproveitamento dos mesmos. Esses resíduos, adequadamente manejados e reciclados no solo, deixam de ser poluentes e passam a ser uma importante ferramenta para aperfeiçoar a relação custo/benefício dos sistemas de produção (CAMPOS, 2012; MATOS, 2014).

Todo e qualquer sistema de tratamento de resíduos apresenta limitações. Portanto, seu uso deve ser avaliado levando-se em conta vantagens e desvantagens. Para a eficácia de qualquer tratamento escolhido, deve-se dar atenção à nutrição animal e aos antibióticos, detergente e outros produtos químicos utilizados. A ração de alta produtividade permite maior aproveitamento pelo animal, evitando-se o desperdício de nutrientes não absorvidos no trato digestivo e que podem sobrecarregar o tratamento. Os sistemas biológicos podem perder eficiência ou ser inativados por esses produtos químicos, causando prejuízos ao tratamento (MATOS, 2014).

Os sistemas de tratamentos podem ser classificados em três diferentes categorias: físicos, biológicos e químicos. Nos tratamentos físicos ocorre separação sólido-líquido do dejetos, como, por exemplo, o peneiramento e decantação. Como exemplo de tratamentos biológicos temos as lagoas e tanques mecanicamente aerados, valas de oxidação, lagoas anaeróbias de degradação e compostagem. Nos tratamentos químicos há a utilização de produtos químicos para otimizar a separação sólido-líquido, controle de pH, controle de odores provenientes dos dejetos tanto nas instalações de criação quanto nos sistemas de tratamento propriamente ditos (MATOS, 2014).

Os sistemas biológicos são os mais utilizados para tratamento de dejetos animais em função da alta biodegradabilidade do material orgânico que compõe a matriz. Existem vários tipos de reatores que operam sob condições anaeróbias. No entanto, para dejetos animais, os mais utilizados têm sido os biodigestores, sobretudo pelos baixos custos e facilidade de construção e de operação (GEBLER; PALHARES, 2007).

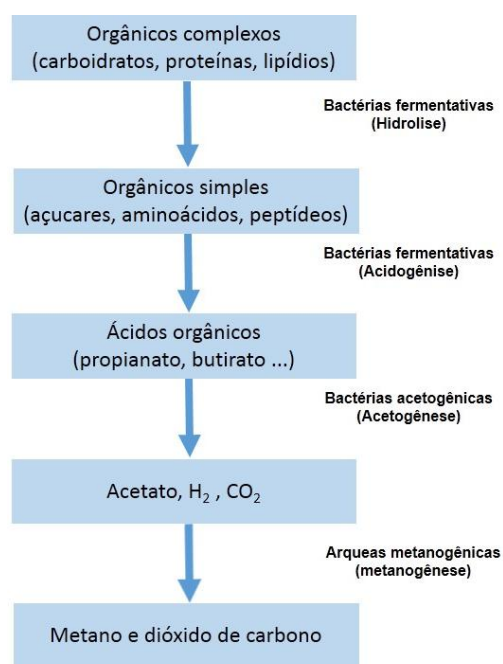
A biodigestão anaeróbia é uma das alternativas para o tratamento de dejetos produzidos na criação animal, reduzindo os riscos sanitários dos mesmos. É praticamente impossível a sobrevivência de patógenos no efluente do biodigestor, sejam bactérias, vírus ou ovos e cisto de protozoários e vermes, em decorrência da ausência de oxigênio e do valor elevado de pH. Dessa forma, os biodigestores constituem-se como um instrumento de sanitização dentro da propriedade rural (FERREIRA, 2013).

3.4 Biodigestão anaeróbia – uma alternativa para o tratamento de dejetos de animais

O mecanismo de decomposição anaeróbica da matéria orgânica se desenvolve pela ação de microrganismos na ausência de oxigênio, produzindo dois produtos de grande valor: o biogás e um líquido efluente. O biogás é composto principalmente por metano e dióxido de carbono. Esse gás pode ser coletado e utilizado na geração de calor ou energia. O líquido efluente é utilizado comumente como fertilizante na agricultura, por conter minerais e nutrientes essenciais para a planta (KUNZ; OLIVEIRA, 2006; RESENDE, 2015).

Os processos metabólicos envolvidos na digestão anaeróbia ocorrem em etapas sequenciais (FIG. 1) e dependem da atividade de no mínimo três grupos fisiológicos de microrganismos. As bactérias fermentativas (convertem por hidrólise e fermentação os compostos orgânicos complexos em compostos mais simples), as bactérias acetogênicas (convertem compostos orgânicos intermediários em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono) e os microrganismos metanogênicos (convertem o acetato e o hidrogênio em metano e dióxido de carbono) (CHERNICHARO, 1997).

Figura 1 – Sequência metabólica envolvida na digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado, CHERNICHARO, 1997, p. 33.

Os microrganismos não conseguem assimilar a matéria orgânica particulada (polissacarídeos e gorduras). Assim, a hidrólise, primeira fase da digestão anaeróbia, consiste na conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos (glicose, aminoácidos, ácidos graxos). Por meio do metabolismo fermentativo, os produtos solúveis que vieram da fase de hidrólise são transformados em compostos mais simples, como, por exemplo, ácidos orgânicos (ácido acético, propiônico e butírico), álcoois (etanol), cetonas (acetona), dióxido de carbono e hidrogênio, caracterizando-se assim a acidogênese. Na acetogênese, os compostos orgânicos intermediários resultantes da acidogênese sofrem oxidação pelas bactérias sintróficas acetogênicas, formando acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. A formação de acetato produz grande quantidade de H_2 , diminuindo-se assim o pH do meio aquoso. Na etapa final, metanogênese, os microrganismos usam o acetato como fonte de carbono e energia, produzindo gás carbônico e metano (CHERNICHARO, 1997).

Para a otimização do aproveitamento energético do biogás proveniente da decomposição anaeróbia, ele deve ter a maior quantidade possível de metano, cujo poder calorífico é elevado. Assim, é necessária uma escolha criteriosa do tipo de biomassa (matéria orgânica) empregada no processo. Os animais que comem alimentos à base de hidratos de carbono e celulose proporcionam dejetos favoráveis ao processo bioquímico bacteriológico de produção de biogás (MACINTYRE, 2010).

A potência calorífica do biogás depende do teor de metano que ele contém. O seu poder calorífico varia de 5.000 a 6.000 kcal/m³. Se ele for altamente purificado, pode chegar a 12.000 kcal/m³. Em média, 1 m³ de biogás equivale a 1,536 kg de lenha; 0,553 L de óleo diesel; 0,613 L de gasolina comum; 0,790 L de álcool hidratado; 0,579 L de querosene; 0,454 kgf de gás de cozinha ou 1,428 kWh de energia elétrica (BARRERA, 2011; MACINTYRE, 2010).

As características e potencialidades dos resíduos para a geração de biogás a partir de dejetos de animais dependem da temperatura, pH, alcalinidade, dieta dos animais e manejo dos resíduos. Para produção de 1 m³ de biogás, em média, são necessários 25 kg de esterco bovino fresco ou 5 kg de esterco seco de galinha ou 12 kg de esterco de porco ou 25 kg de plantas/cascas de cereais (BARRERA, 2011).

Quanto mais novo o esterco, maior será a quantidade de bactérias disponíveis e maior a formação de biogás. A urina do gado e as instalações sanitárias da propriedade também podem ser descarregadas no biodigestor. O

material orgânico deve ser sempre carregado na forma líquida, para que não haja bloqueio na produção de gás. Ao esterco bovino fresco adiciona-se igual proporção de água (1:1) e ao esterco seco adiciona-se duas vezes mais água (1:2).

Existem diferentes formas de implementar a biodigestão anaeróbia para o tratamento de dejetos, como, por exemplo, os reatores de fluxo ascendente e fossas sépticas, que podem ser utilizadas para tratamento de esgoto doméstico. Porém, os biodigestores são os mais aplicados para o tratamento de dejetos bovinos.

3.5 Biodigestor

Um biodigestor pode ser definido como uma câmara de fermentação fechada, onde a biomassa sofre a digestão por bactérias anaeróbicas produzindo biogás. Como resultado desta fermentação, além da liberação de biogás, ocorre também a produção de biofertilizante (efluente proveniente da biodigestão) (CARVALHO, 2014; SILVA, 2016).

Atualmente os biodigestores são utilizados com a finalidade de produção de energia e biofertilizante em muitos países. A grande contribuição para a expansão da utilização dos mesmos vem da Índia e da China. Em 1930, na cidade de Kanpur, na Índia, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola de Kanpur iniciou estudos sobre o desenvolvimento de biodigestores, e em 1939 foi criado o *Institute Gobár Gás* (Instituto de Gás de Esterco), onde se inaugurou a primeira usina de gás de esterco. A China motivou-se a adotar tal tecnologia a partir de 1958 (SGANZERLA, 1983 apud PEDERIVA, 2012; SILVA, 2016).

Segundo Gaspar (2003), na Índia, a fome e a falta de combustíveis fósseis foi o que impulsionou o desenvolvimento da tecnologia dos biodigestores. O foco principal da utilização de biodigestores era a produção de energia a partir do biogás. Já o governo chinês aperfeiçoou as técnicas rudimentares de cultivo do solo por meio da utilização de biodigestores, cujo principal objetivo era a produção de biofertilizante para cultivo de alimentos para sua enorme população. Com a crise energética em 1973, a implantação de biodigestores passou a ser interessante tanto para países ricos como para os países em desenvolvimento.

De acordo com Palhares (2007 apud SILVA, 2016), o biodigestor surgiu no Brasil, na década de 1940, quando alguns padres construíram biodigestores nas comunidades onde trabalhavam. Entretanto somente com o início da crise do

segundo choque do petróleo ocorrido em 1979 foi que o país teve maior interesse pelos mesmos, criando um amplo programa de investimento voltado para a substituição e conservação de derivados de petróleo.

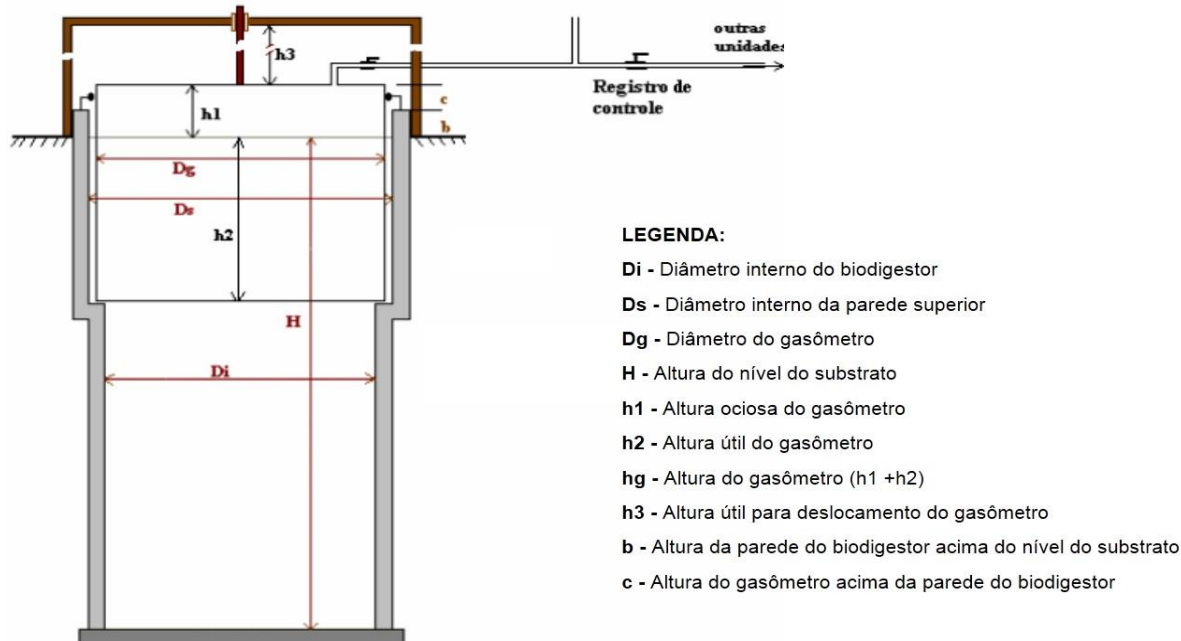
Os programas criados pelo governo para o incentivo à implantação deste equipamento em fazendas fizeram com que cerca de sete mil biodigestores fossem instalados. Entretanto, dificuldades na sua implementação e problemas operacionais fizeram com que esta tecnologia caísse em descrédito no meio rural. Por envolver conhecimentos de microbiologia, física e química, os agricultores que não tinham nível de escolaridade suficiente tinham que passar por treinamentos e/ou chamar assistência técnica periódica a fim de suprir essa deficiência, o que acarretava a elevação dos custos. Hoje, os biodigestores são bem aceitos e difundidos pelo país (PEDERIVA, 2012; SILVA, 2016).

Apesar de existirem diferentes sistemas de digestão e diversos tipos de biodigestores, em geral, o princípio de operação é o mesmo: os efluentes agropecuários e outros tipos de biomassa são introduzidos num grande recipiente selado e sem ar no seu interior. Neste ambiente as bactérias produzem biogás, que pode ser utilizado para gerar calor e/ou eletricidade (CARVALHO, 2014).

Quanto ao modo de operação, os biodigestores se dividem em sistema de digestão descontínuo (batelada) e sistema de digestão contínuo. O sistema contínuo é subdividido em horizontal e vertical. Dentro de cada uma dessas subdivisões existem diferentes modelos de biodigestores, tais como o indiano e o chinês (verticais), os modelos canadense e paquistanês (horizontais), dentre outros (CARVALHO, 2014).

O biodigestor com sistema de digestão em batelada (FIG. 2) é um modelo simples, utilizado para pequenas produções de biogás. Ele é composto por um tanque que pode ser de alvenaria, metal ou fibra de vidro. O seu carregamento é efetuado de uma só vez e após 15 ou 20 dias de fermentação começa a produção de biogás. Após o fim da fermentação, o biodigestor é descarregado e limpo. Um novo carregamento é efetuado e dá-se início ao processo novamente. Devido à necessidade de manutenção e limpeza, pode-se utilizar duas unidades em paralelo. Este tipo de biodigestor é geralmente utilizado em propriedades onde a produção de biomassa não é contínua, como, por exemplo, granjas avícolas de corte, nas quais o esterco é removido quando ocorre a limpeza do galpão após a venda das aves (BARRERA, 2011; MOTTA, 2012; JUNQUEIRA, 2014).

Figura 2 – Biodigestor batelada



Fonte: Adaptado, DEGANUTTI, 2002.

O biodigestor contínuo é utilizado quando há abundância constante de dejetos no local. Ele é alimentado continuamente com um substrato de fácil degradação na forma líquida ou semilíquida. A alimentação ocorre através de dutos de alimentação. O biogás é extraído por uma tubulação na parte superior e o biofertilizante é removido através de dutos de saída. Assim, enquanto o biodigestor for alimentado com substrato, a produção de biogás e biofertilizantes ocorre continuamente. Em relação à sua forma, os biodigestores contínuos são divididos em horizontais e verticais, sendo que esses dois são ainda subdivididos em outras classificações quanto ao modelo (CARVALHO, 2014; JUNQUEIRA, 2014; MOTTA, 2012).

Os biodigestores contínuos verticais possuem tanques cilíndricos de alvenaria, os quais, na maioria dos casos, têm a maior parte enterrada no solo. A alimentação da carga orgânica é realizada na parte inferior, e o biogás sai na parte superior. Como este modelo apresenta uma considerável profundidade escavada no solo, sua utilização exige cautela para que não haja contaminação de lençóis freáticos. Já os biodigestores contínuos horizontais têm altura menor que o comprimento e a largura. Eles podem ou não estar enterrados no solo. A alimentação de biomassa é realizada por um dos lados do biodigestor, enquanto do outro lado retira-se o biofertilizante. Apesar da variedade de modelos de

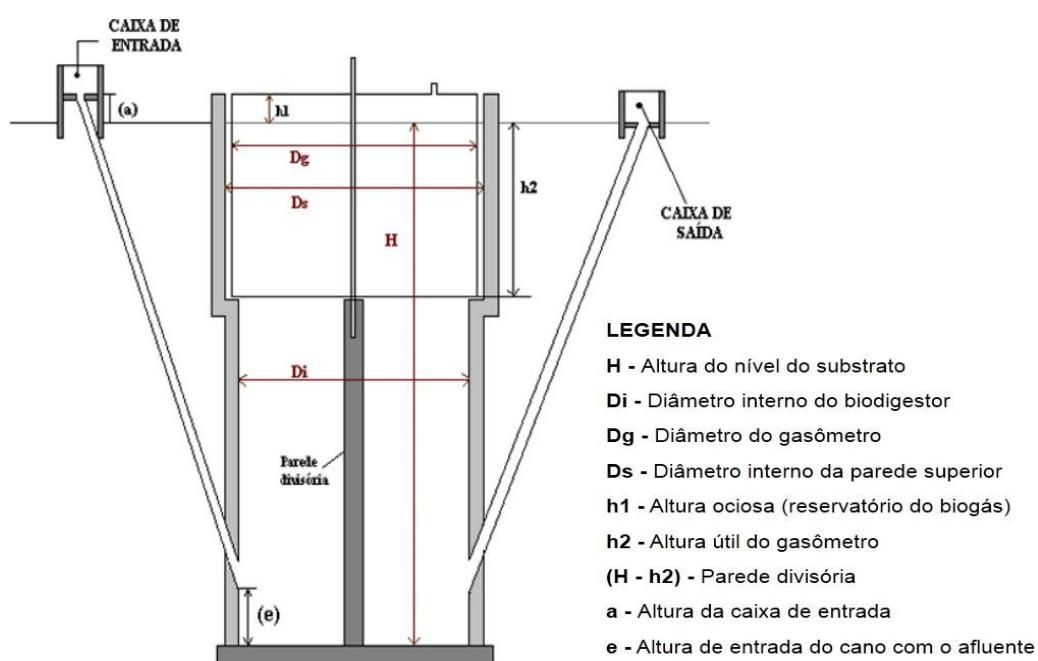
biodigestores contínuos, os mais difundidos são o chinês, o indiano e o canadense (GASPAR, 2003; JUNQUEIRA, 2014; CARVALHO, 2014).

3.5.1 Biodigestor indiano

O modelo indiano (FIG 3) é um biodigestor contínuo vertical, caracterizado por possuir uma câmara de fermentação cilíndrica feita em alvenaria, dividida em duas partes por uma parede central para melhor circulação da matéria orgânica em digestão. Ele possui também uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, reduzindo-se assim as perdas durante o processo de produção do gás (DEGANUTTI, 2002; PEDERIVA, 2012).

O biodigestor indiano possui pressão de operação constante (quando o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro desloca-se verticalmente, aumentando seu volume). A carga orgânica utilizada para alimentá-lo deve apresentar uma concentração de sólidos totais inferior a 8% para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar possíveis entupimentos nos canos de entrada e saída do material (DEGANUTTI et al., 2002; JUNQUEIRA, 2014).

Figura 3 – Biodigestor indiano



Fonte: Adaptado, DEGANUTTI, 2002.

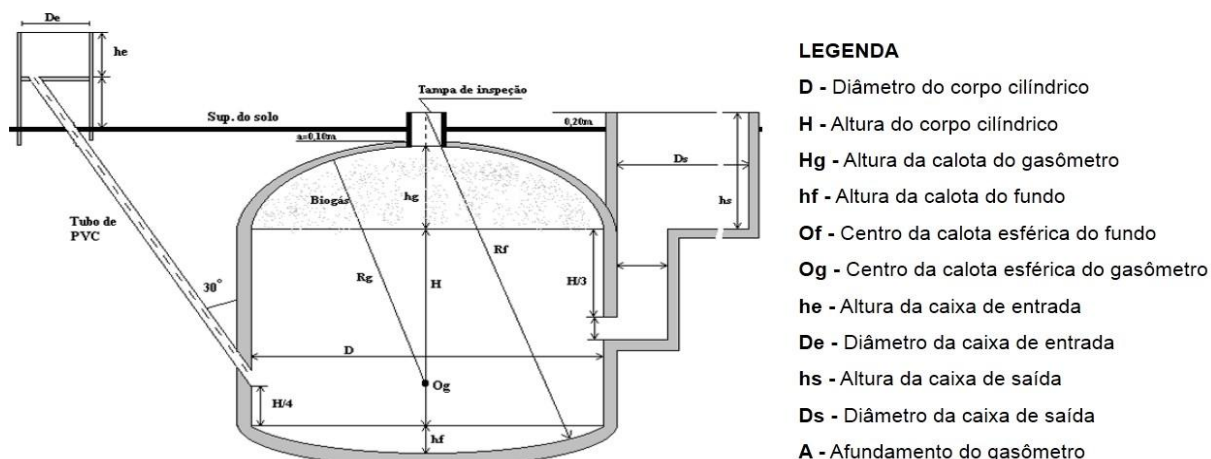
Geralmente são utilizados para o tratamento de dejetos bovinos e/ou suínos devido à regularidade de produção. Por ter suas paredes construídas encravadas no solo, dispensa o uso de reforços, o que acaba por diminuir os custos de implantação. Além disso, ele é de fácil construção. Entretanto, o gasômetro de metal pode aumentar o custo final. A distância entre o biodigestor e o local de utilização do biogás e/ou a distância entre o biodigestor e a fonte de dejetos (curral) são outras características que podem inviabilizar a implantação do mesmo devido ao aumento dos custos (BARRERA, 2011; MOTTA, 2012; SILVA, 2016).

Por ser um biodigestor de subsolo, é preciso ter cuidado na sua instalação, sendo necessário destinar uma atenção maior à sua impermeabilização para evitar a contaminação do lençol freático. Além disso, pode ocorrer perda de calor através da câmara de gás metálica, que é de difícil isolamento. Portanto, o biodigestor indiano é pouco indicado para climas frios. Esse modelo tem tempo de retenção entre 30 e 60 dias, e produção potencial entre 400 e 600 litros de biogás por m³ de volume do biodigestor por dia (BARRERA, 2011; MOTTA, 2012).

3.5.2 Biodigestor chinês

O modelo chinês (FIG. 4), que também é um biodigestor contínuo vertical, é considerado o modelo mais rústico do ponto de vista construtivo. Ele é quase que totalmente construído em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço. Por esse motivo, os custos relativos à sua construção são menores. Sua estrutura é formada por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto encurvado, objetivando o depósito do biogás, o que torna sua construção mais difícil que a do modelo indiano. Portanto, caso ele não seja bem vedado e impermeabilizado durante sua construção, podem surgir vazamentos de biogás. Este biodigestor funciona com base no fundamento da prensa hidráulica, de maneira que o aumento de pressão ocasionado pela concentração de biogás em seu interior deslocará o efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída; em sentido contrário, estará ocorrendo a descompressão (DEGANUTTI, 2002; PEDERIVA, 2012; MOTTA, 2012; JUNQUEIRA, 2014).

Figura 4 – Biodigestor chinês



Fonte: Adaptado, DEGANUTTI, 2002.

Com o intuito de reduzir parcialmente a pressão interna neste tipo de biodigestor, uma parcela do biogás gerado na caixa de saída será liberada para a atmosfera. Assim, não se utiliza esse modelo para tratar grandes quantidades de biomassa. Similar ao modelo indiano, o substrato também deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8% para evitar entupimento do sistema de entrada e facilitar a circulação do material (BARRERA, 2011; MOTTA, 2012).

Em termos comparativos, os modelos chinês e indiano, apresentam desempenho semelhante. Porém, o modelo indiano é um pouco mais eficiente quanto à produção de biogás e redução de sólidos no substrato como pode ser visto na TAB. 2 (CARVALHO, 2014).

Tabela 2 – Desempenho de biodigestores modelo indiano e chinês

	Biodigestor	
	Chinês	Indiano
Redução de sólidos (%)	37	38
Produção média ($m^3 \cdot dia^{-1}$)	2,7	3,0

Fonte: Adaptado, CARVALHO, 2014.

3.5.3 Biodigestor canadense

O modelo Canadense (FIG. 5), também chamado de biodigestor de fluxo tubular, é um biodigestor contínuo horizontal de simples construção, que possui uma

tecnologia moderna. Ele é constituído basicamente por duas partes: a superior, denominada campânula (ou campana), destinada a reservar o biogás produzido pela fermentação anaeróbica, e a parte inferior, denominada fossa, destinada à mistura líquida (excremento de animais mais água) que entra no sistema. Durante a produção de biogás, a cúpula de material plástico maleável infla-se, acumulando o biogás. Conforme os dejetos vão sendo introduzidos no tanque do biodigestor, o material mais antigo vai sendo deslocado para o extremo oposto (LUCAS JUNIOR; SOUZA, 2009 apud SILVA, 2016; JUNQUEIRA, 2014).

Figura 5 – Biodigestor canadense



Fonte: Nordeste rural – negócios do campo (<http://nordesterural.com.br/uso-do-biodigestor-para- aproveitamento-dos-residuos-na-propriedade>).

Sua largura é maior e sua profundidade é menor do que as dos biodigestores indiano e chinês, o que resulta em maior área de exposição solar. Portanto, eles são mais sensíveis às mudanças de temperatura. No entanto, eles possibilitam uma maior produção de biogás por volume de massa fermentada devido à sua forma. Por esta razão é recomendado que sejam operados em regiões mais quentes ou sejam equipados com sistemas de aquecimento ou protegidos do vento. O tempo de retenção nesse equipamento é em torno de 30 a 35 dias (BARRERA, 2011; MOTTA, 2012).

Atualmente o biodigestor canadense é o mais utilizado no Brasil, sendo frequentemente encontrado em propriedades rurais. Por ser construído basicamente de material plástico, a sua construção é bastante simples. Além disso, a sua implantação requer menor custo em relação aos biodigestores com campânulas metálicas ou fibra de vidro. Ele também é de fácil limpeza, descarga e manutenção. Este modelo de biodigestor é o mais indicado para tratar grandes volumes de dejetos. Porém, ele apresenta algumas desvantagens como menor durabilidade

quando comparado com os biodigestores indiano e chinês, além de estar sujeito a acidentes caso ocorra perfuração da lona plástica. Devido à sua configuração, ocupa uma área maior de implantação (LUCAS JUNIOR; SOUZA, 2009 apud SILVA, 2016; JUNQUEIRA, 2014).

Sua construção é basicamente caracterizada por uma câmara de fermentação escavada no solo, com formato de trapézio ou tronco pirâmide invertido. Para o revestimento de sua cobertura utiliza-se comumente manta de polietileno de alta densidade (PEAD), com espessura de 0,8 mm a 2 mm, na cor preta ou branca. No revestimento interno pode ser utilizado material sintético flexível, como manta de policloreto de vinila (PVC) com espessuras de 0,8 mm a 1 mm na cor preta (a verificação da resistência e vida útil dos materiais utilizados nos revestimentos é de suma importância). O fluxo de dejetos pode ser gerado através de descargas por gravidade ou através de bombas de recalque. A remoção de lodo e a recirculação dos dejetos realizada por bomba hidráulica facilita a agitação do substrato por meio de mistura hidráulica. Conforme o efluente vai sendo produzido, ele é encaminhado a um tanque devidamente impermeabilizado e, posteriormente, é utilizado para aplicação no solo. Para o biogás, é instalada uma válvula reguladora que controla a pressão na qual o gás se encontra na campânula e também um motor/gerador de combustão interna para a geração de energia elétrica (JUNQUEIRA, 2014; LUCAS JUNIOR; SOUZA, 2009 apud SILVA, 2016).

3.6 Escolha e dimensionamento de um biodigestor

A escolha do tipo do biodigestor e seu respectivo dimensionamento dependem das condições locais do solo, da disponibilidade e qualidade de matéria orgânica utilizada como substrato, bem como da facilidade na sua obtenção, preparo e armazenamento, da facilidade na remoção e utilização do biofertilizante, da experiência do construtor, da relação custo/benefício, das necessidades de depuração, da disponibilidade de mão-de-obra e da distância entre os locais de produção e utilização do biogás (VELOSO, 2011; CARVALHO, 2014).

O local de instalação do biodigestor não deve ficar a mais de 30 m do local onde será utilizado o biogás. A temperatura dentro da câmara de digestão deve ser mantida constante, em torno de 35 °C. Devido ao fato do Brasil ser um país de clima tropical, o simples fato de construí-lo no interior da terra já o isola das variações

climáticas externas. O ideal é que ele fique exposto ao sol na maior parte das horas do dia. Se o abastecimento de água for de poço, o biodigestor deve ser instalado sempre à distância de mais de dois metros do poço (BARREIRA, 2011).

Para a implantação de um biodigestor chinês é imprescindível a contratação de mão de obra especializada para assentar tijolos em curva e a fácil obtenção de materiais selantes. Seu volume total deve ser menor que 20 m³. Para a implantação de um biodigestor indiano é fundamental a fácil obtenção de chapa de ferro para a construção da campânula e a disponibilidade para pintá-la anualmente. Seu volume total também deve ser menor que 20 m³ (BARREIRA, 2011).

Segundo Macintyre (2010), cada tipo de biodigestor tem suas particularidades de projeto. Entretanto, o dimensionamento de qualquer modelo parte do conhecimento do consumo energético que se deseja obter e a verificação da disponibilidade de biomassa, para saber se a produção para tal consumo é viável ou não.

Inicialmente realiza-se um levantamento dos aparelhos (elétricos, térmicos e outros) utilizados na propriedade onde será instalado o biodigestor e calcula-se o consumo específico de energia durante as 24 horas do dia conforme aplicação de cada aparelho. Em seguida, converte-se o consumo energético em consumo de biogás. O total de biogás a ser consumido por dia (Q_t) na propriedade em questão é obtido utilizando-se a equação 1, que leva em conta o consumo específico de biogás de cada aparelho (Q_i). Para calcular a quantidade de matéria orgânica (Q_{MO}) necessária para atender a demanda energética, utiliza-se a equação 2 (VELOSO, 2011; MACINTYRE, 2010; CARVALHO, 2014).

$$Q_t = \sum Q_i \quad (1)$$

$$Q_{MO} = \text{Biogás}(MO) \cdot Q_t \quad (2)$$

Onde:

Biogás(MO) é a quantidade de matéria orgânica necessária para produzir 1 m³ de biogás.

Para evitar problemas como o entupimento e facilitar a introdução (descarga) no tubo de entrada, a matéria orgânica deve estar na forma líquida ou semilíquida. Para cada tipo de dejetos animal é utilizada uma razão de diluição (matéria orgânica:água). No caso de dejetos bovinos esta razão é de 1:1. Assim a carga diária (R) que o reator irá receber é calculada utilizando a equação 3 (VELOSO, 2011; CARVALHO, 2014).

$$R = Q_{MO} + \text{água para diluição} \quad (3)$$

Se a quantidade de matéria orgânica for suficiente para suprir o consumo total de biogás, após a determinação da carga diária, do tempo de retenção hidráulico (THR) (tempo em dias a carga permanece no biodigestor), e do modelo do biodigestor, é possível iniciar o dimensionamento do mesmo. Costuma-se calcular os biodigestores para um período de incubação (produção efetiva) de cinco a seis semanas. O TRH é obtido pela divisão do volume total do biodigestor pelo volume de líquido adicionado diariamente (VELOSO, 2011; MACINTYRE, 2010; CARVALHO, 2014; BARREIRA, 2011). A seguir serão apresentadas as etapas para dimensionar um biodigestor indiano e um canadense.

3.6.1 Dimensionamento de um biodigestor modelo indiano

Veloso (2011) dimensionou um biodigestor piloto promovendo a base para a elaboração de um aplicativo computacional englobando todas as etapas dimensionais e construtivas do mesmo. Carvalho (2014) dimensionou um biodigestor indiano e um chinês e também analisou os fatores que influenciam neste dimensionamento, como a temperatura, substrato e tempo de retenção.

Para o dimensionamento do biodigestor indiano, ambos os autores supracitados utilizaram a metodologia proposta por Ortonani et al., (1991)¹ que será descrita a seguir.

O volume útil do biodigestor (V_b) é obtido através da equação 4.

¹ ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; JUNIOR, J. L. Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1991. 35 p.

$$V_b = K \cdot B \quad (4)$$

Onde:

K: fator de rendimento (relação entre o volume do biodigestor e o volume de biogás necessário para o consumo diário; no caso de dejetos bovinos o valor de *K* é de 2,5 e, para os demais materiais, o valor de *K* varia de 0,7 a 4,0 dependendo do tipo de biomassa, da diluição, da temperatura e do tipo de reabastecimento);

B: volume de biogás necessário por dia (o consumo diário total, incluindo a porcentagem de margem de segurança, tem que satisfazer a condição: $2 \leq B \leq 25$).

Determinado o tempo de retenção hidráulica (TRH), o volume útil estimado do biodigestor (V_{ue}) é calculado pela equação 5.

$$V_{ue} = R \cdot TRH \quad (5)$$

O diâmetro interno (D_i) e a altura (H) (FIG 3) devem satisfazer as restrições verificadas nas equações 6, 7 e 8:

$$V_b = \frac{\pi \cdot D_i^2 \cdot H}{4} \geq 1,1 V_{ue} \quad (6)$$

$$0,66 \leq \frac{D_i}{H} \leq 1,0 \quad (7)$$

$$3,0 \text{ m} \leq H \leq 6,0 \text{ m} \quad (8)$$

O gasômetro deve ser dimensionado de forma que possua a capacidade de armazenar, pelo menos, todo o biogás produzido em 12 horas. Para evitar a saída de bolhas de biogás entre a parede interna do biodigestor e a parede externa do gasômetro, deve existir uma folga de 100 mm entre o diâmetro interno (D_i) e o diâmetro do gasômetro (D_g) (FIG 3), conforme a equação 9.

$$D_g = D_i + 100 \text{ mm} \quad (9)$$

A altura ociosa do gasômetro (h_1) deve ter seu valor igual ou superior a 150 mm, permitindo um bom armazenamento de gás. Dessa forma, calculam-se a altura da parede divisória (h), a altura útil do gasômetro (h_2), a altura do gasômetro (h_g), o volume existente entre a tampa do gasômetro e o nível da mistura do biodigestor (V_1), o volume útil do gasômetro (V_2) e volume do gasômetro (V_g) utilizando-se as equações 10, 11, 12, 13, 14 e 15 respectivamente.

$$h \geq \frac{2H}{3} \quad (10)$$

$$h = H - h_2 \quad (11)$$

$$h_g = h_1 + h_2 \quad (12)$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_g^2 \cdot h_1}{4} \quad (13)$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D_g^2 \cdot h_2}{4} \quad (14)$$

$$V_g = V_1 + V_2 \quad (15)$$

O volume da parede divisória (V_p), é obtido pela equação 16.

$$V_p = h \cdot D_i \cdot t \quad (16)$$

Onde:

t: espessura de um tijolo revestido (aproximadamente 240 mm).

O volume útil da caixa de entrada (V_e) é obtido pela equação 17.

$$V_e = \frac{V}{TRH} \quad (17)$$

Para o diâmetro interno da parede superior (D_s) utiliza-se a equação 18, para o diâmetro externo da parede superior (D_{es}) a equação 19, para o diâmetro externo da parede inferior (D_{ei}) a equação 20 e para o diâmetro da base (D_b) a equação 21.

$$D_s = D_g + 100 \text{ mm} \quad (18)$$

$$D_{es} = D_s + 2t \quad (19)$$

$$D_{ei} = D_i + 2t \quad (20)$$

$$D_b = D_{ei} + 200 \text{ mm} \quad (21)$$

A altura entre o solo e o fundo da caixa de entrada (a) que tem demonstrado ser satisfatória para o reabastecimento é de 0,5 m. A altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato (b) depende da pressão máxima desejada, sendo esse valor numericamente igual ao valor da pressão expresso em coluna d'água ($p = 150$ mmca), utilizando-se as equações 22 e 23.

$$b = p \quad (22)$$

Sendo que

$$0,1ca < b < 0,2ca \quad (23)$$

Os tubos de entrada e saída devem ter um bom posicionamento para garantir uma boa agitação no fundo do biodigestor por ocasião do reabastecimento. Eles devem ser retos, com as extremidades inferiores seccionadas tangencialmente à parede, a uma altura (e) de 0,3 m em relação ao fundo, com inclinação em torno de 30° em relação à parede, e com diâmetro que possibilite livre fluxo do substrato.

O tubo de entrada tem início no fundo da caixa de entrada. Para facilitar a introdução (descarga) e contribuir para uma melhor agitação no interior do biodigestor, o mesmo deve ter uma pequena elevação do fundo da caixa de

entrada/carga em relação à extremidade superior do tubo de saída/descarga. Considerando o triângulo retângulo formado pelo tubo, tem-se este como a hipotenusa, o cateto adjacente (parede lateral esquerda) e o cateto oposto como a distância entre o tubo e a parede do biodigestor. Assim, para calcular o comprimento do tubo (C_{tubo}) e a parede lateral esquerda (P_E) utilizam-se as equações 24 e 25 respectivamente.

$$P_E = a + (H - e) \quad (24)$$

$$C_{tubo} = \frac{P_E}{\cos 30^\circ} \quad (25)$$

A caixa de saída deve ser dimensionada com, no mínimo, três vezes o volume de carga diária para permitir o armazenamento do biofertilizante.

3.6.2 Dimensionamento de um biodigestor modelo canadense

Macedo (2013) dimensionou e determinou o custo de implantação de um biodigestor modelo canadense para o tratamento de dejetos suínos considerando tempo de retenção hidráulica e carga orgânica volumétrica como parâmetros de projeto, constatando que o custo do m³ do biodigestor e da produção de 1 m³ de metano é menor quanto maior o volume do biodigestor. As mantas de PVC representam de 34 a 58% dos custos de implantação.

Junqueira (2014) desenvolveu e analisou a viabilidade econômica de um biodigestor como fonte de geração de energia para uma propriedade rural utilizando o modelo matemático desenvolvido por Ribeiro (2011) e percebeu que a instalação não seria economicamente viável devido à produção insuficiente de dejetos. Entretanto, foi ressaltado que para criações maiores a instalação de um biodigestor modelo canadense geraria vantagens ambientais e econômicas para o produtor.

Ribeiro (2011) desenvolveu um modelo para calcular as dimensões de um biodigestor tubular em função da razão gás/fase líquida. Baseado em outras metodologias para o projeto de biodigestores, no raciocínio lógico-matemático e nos programas EXCEL 2007® e AutoCAD 2009®, os resultados demonstraram 100% de

exatidão para o dimensionamento e 100% de aplicabilidade em campo considerando a proporção gás/fase líquida menor que 40%.

O autor supracitado iniciou seu modelo utilizando os seguintes parâmetros: arco da campana, lateral, altura, base e largura maior da fossa. Para o desenvolvimento das equações ele relacionou estes parâmetros com a proporção entre gás e fase líquida (a qual não pode ser maior que 40%, pois acima desse valor, o volume da fase líquida não seria capaz de manter a campana cheia de biogás, levando o biodigestor ao colapso). As equações que constituem esse modelo estão apresentadas na TAB. 3.

Tabela 3 – Equações para cálculo das dimensões do biodigestor

Fórmula	Descrição	Fórmula	Descrição
$P = C = 2 \cdot r \cdot \pi$	(26)	P - Perímetro total transversal (campana mais fossa) C - Circunferência da bolsa r - Raio da bolsa plástica	
$A\% = 0,621 \cdot p^2 - 0,042 \cdot p + 0,352$	(27)	A% - Porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco p - Proporção da fase gasosa desejada ($p \leq 0,4$)	
$b = \left(-\frac{1}{3} \cdot A\% + \frac{1}{3} \right) \cdot P$	(28)	b - Lateral, base ou largura menor da fossa	
$a = 1,618 \cdot b$	(29)	a - Largura maior da fossa	
$h = 0,951 \cdot b$	(30)	h - Profundidade da fossa	
$A_f = 0,4755 \cdot (a+b) \cdot b$	(31)	A _f - Área transversal da fossa	
$A_t = \frac{A_f}{(1-p)}$	(32)	A _t - Área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana	
$A_g = A_t - A_f$	(33)	A _g - Área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás	
$V_t = A_t \cdot L$	(34)	V _t - Volume total do biodigestor (campana mais gás) L - Comprimento do biodigestor	
$V_f = A_f \cdot L$	(35)	V _f - Volume total da fossa	
$V_g = A_g \cdot L$	(36)	V _g - Volume total do gás	

Fonte: Ribeiro, 2011.

Para utilizar as equações descritas acima, inicialmente determina-se o tempo de retenção hidráulico (TRH), o qual depende da capacidade das bactérias em degradar a matéria orgânica e varia de acordo com a sua fonte. Em média, para

bovinos e suínos, utiliza-se um tempo de 35 dias; para caprinos 45 dias, e para aves 60 dias. Com o TRH definido e utilizando a equação 37, calcula-se o volume estimado do biodigestor. Em seguida, condicionado ao volume obtido e utilizando-se uma ferramenta de cálculo, selecionam-se os parâmetros iniciais: comprimento, raio da bolsa e a proporção de fase gasosa (MACEDO, 2013; JUNQUEIRA, 2014).

$$V = Q . TRH \quad (37)$$

Onde:

V: Volume estimado do biodigestor (m³)

Q: Vazão – carga diária (m³d⁻¹)

A caixa de entrada deve ser dimensionada para suportar pelo menos a carga diária (dejetos mais água para diluição), enquanto que a caixa de saída é dimensionada para suportar pelo menos três vezes a carga diária para que o biofertilizante seja armazenado (JUNQUEIRA, 2014).

Para a instalação de um biodigestor modelo canadense é necessário uma manta de cobertura de PVC de no mínimo 1,0 mm, tubulação de PVC de 150 mm para a entrada de dejetos e saída de biofertilizante e tubulação e conexões de PVC de 1” para a condução do biogás. É de extrema importância selar a campânula. A vedação pode ser realizada com um feixe hídrico (selo d’água) ao redor do biodigestor. Nesse sistema, a manta de cobertura fica presa no fundo de um tanque d’água, onde a água faz a selagem da câmara, impedindo assim a saída do biogás na extensão do biodigestor. Em biodigestores de volumes pequenos a vedação pode ser feita no solo, enterrando-se as bordas da manta de PVC (gasta-se para isso mais lona, mas economiza-se em outros materiais) (MACEDO, 2013; JUNQUEIRA, 2014).

4 METODOLOGIA

O método empregado consistiu-se na busca de textos científicos e livros publicados em diversas bases de dados com informações sobre o saneamento ambiental na zona rural, diferentes modelos de biodigestores para o tratamento de dejetos de animais e formas de dimensionamento e construção do mesmo.

Inicialmente foi realizado um levantamento dos equipamentos elétricos utilizados na fazenda e estipulou-se a quantidade de energia gasta diariamente. Considerando que cada m^3 de biogás equivale a 1,428 kWh de energia elétrica e que para a produção de 1 m^3 de biogás, são necessários em média 25 kg de esterco bovino fresco, calculou-se a quantidade de biogás e matéria orgânica necessária para atender 100% da demanda energética, utilizando-se as equações 1 e 2.

Em seguida, calculou-se a quantidade média de esterco produzida diariamente na propriedade. Para realizar este cálculo, primeiramente realizou-se uma limpeza do curral (FIG. 6). Após 24 horas da limpeza do curral, realizou-se uma nova limpeza, raspando-se os dejetos e colocando-os em um carrinho de mão que, quando cheio, comporta em média 70 kg de esterco. Com a quantidade de esterco gerada diariamente calculou-se a quantidade média de biogás que seria produzido a partir do esterco e verificou-se então se a quantidade seria suficiente para atender a demanda energética.

Figura 6 – Curral da fazenda



Fonte: Imagem capturada pela autora (2017).

Para obter a densidade média dos dejetos na fazenda em questão e calcular o seu volume em m^3 , coletou-se um litro de dejetos fresco e verificou-se a massa do mesmo. Adotou-se uma razão de diluição (matéria orgânica:água) de 1:1 e, em seguida, calculou-se a carga diária (R) que o reator receberia utilizando-se a equação 3.

Com o valor da carga diária e considerando o tempo de retenção hidráulica igual a 35 dias, calculou-se o volume estimado do biodigestor utilizando-se a equação 37. Em seguida foi escolhido o modelo de biodigestor a ser utilizado e o local da possível instalação do mesmo na propriedade, observando-se a distância do curral até o local onde seria utilizada toda a energia proveniente do biogás.

O valor do volume estimado do biodigestor foi utilizado para comparação e realização do cálculo das dimensões do mesmo. Utilizando as equações 26 a 36, e a planilha eletrônica (Excel), encontrou-se as dimensões do comprimento, raio da bolsa e a proporção de fase gasosa que melhor se encaixavam a fim de obter um volume próximo ao volume estimado.

A caixa de entrada foi dimensionada com um volume 10% maior do que o volume da carga diária e a caixa de saída com um volume três vezes maior que a caixa de entrada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os saneamentos prestados à área rural apresentam elevado déficit de cobertura, principalmente em relação ao esgotamento sanitário e manejo/tratamento dos resíduos sólidos. Dentre os resíduos sólidos produzidos na zona rural, os dejetos animais constituem um problema expressivo, causando impactos ambientais e, conseqüentemente, prejudicando a saúde e bem-estar do ser humano. Uma das formas de evitar que os dejetos animais poluam o meio ambiente, passando a ser uma importante ferramenta para aperfeiçoar a relação custo/benefício dos sistemas de produção, é o seu correto gerenciamento e tratamento, como, por exemplo, a utilização de biodigestores.

Existem vários modelos de biodigestor, e assim diferentes formas de dimensionamento. Porém, antes de iniciar o dimensionamento de qualquer um deles, é necessário saber a quantidade e a periodicidade disponível de biomassa para escolher o tipo de biodigestor e verificar se a quantidade de biomassa é suficiente para produzir a quantidade de biogás esperada. A TAB. 4 mostra a quantidade média de energia elétrica gasta diariamente na propriedade estudada, e a TAB. 5 apresenta a quantidade média de dejetos e o volume de biogás que seriam produzidos diariamente bem como alguns outros parâmetros pré-dimensionais.

Tabela 4 – Quantidade de energia elétrica gasta diariamente na fazenda

Equipamento	Potência (W)	Funcionamento por dia (h)	Energia (kWh)/dia
Tanquinho de leite	11032,5	10	110,32
Ordenha	2206,5	6	13,23
Bomba de irrigação	11032,5	9	99,29
Total	24271,5	-	222,85

Fonte: Autora (2017).

Com base na TAB 4 e considerando os parâmetros estabelecidos na metodologia, verifica-se que para atender 100% da demanda energética é necessário produzir 156,06 m³ por dia de biogás. Para gerar este volume de biogás, é necessário 3.901,55 kg por dia de matéria orgânica.

Tabela 5 – Parâmetros pré-dimensionais

Parâmetro	Valor obtido
Quantidade de carrinho de mão utilizado para retirar todo o dejetos produzido durante 24 horas no curral	40 carrinhos de mão
Matéria orgânica produzida diariamente na fazenda (Q_{MO})	2800 Kg
Biogás produzido (Q_t) em relação à quantidade de Q_{MO}	112 m ³
Energia elétrica em relação à quantidade de Q_t produzido	159,936 KW/h
Massa de 1 m ³ de dejetos fresco	886 g
Densidade aproximada dos dejetos em questão	866 Kg/m ³
Volume de dejetos produzido diariamente	3,16 m ³
Carga diária que o reator irá receber (R)	6,32 m ³ por dia

Fonte: Autora (2017).

A quantidade de biogás que seria produzida diariamente na fazenda em estudo seria insuficiente para atender toda a demanda energética. Porém, considerando que na zona rural o preço do kWh atualmente é de 0,35 centavos, a quantidade de biogás que seria produzida poderia gerar uma economia de R\$ 1.679,32 por mês (ou R\$ 20.151,84 por ano), desconsiderando os gastos com a construção e manutenção do biodigestor. O produtor também teria uma economia com a substituição de fertilizantes pelo biofertilizante no solo. Assim, julgou-se a possível implantação do biodigestor como viável.

Considerando-se um adicional de 10% na carga diária do biodigestor para suportar alguma variação que possa acontecer, obtém-se um volume estimado de 243,34 m³. Os biodigestores indianos e chineses devem possuir um volume menor que 20 m³. Assim seria necessário construir uma série deles. Portanto escolheu-se dimensionar um biodigestor canadense (tubular), que pode ser dimensionado para um grande volume. O local da possível instalação encontra-se representado na FIG. 7.

Partindo-se do volume estimado (243,34 m³), adotou-se os valores para o raio da bolsa plástica igual a 3 m, a proporção de fase gasosa desejada igual a 0,40 e o comprimento do biodigestor igual a 9,5 m. A proporção foi escolhida conforme o máximo valor admitido para manter a campana cheia de gás. O comprimento foi escolhido para não ultrapassar 10 m (o que prejudicaria o espaço destinado para nutrição das vacas). O raio foi escolhido para não ultrapassar a altura da fossa e

fazendo testes no Excel e observando qual seria o valor ótimo para as dimensões do biodigestor. A TAB. 6 mostra os resultados obtidos.

Figura 7 – Vista aérea da propriedade/local da possível instalação do biodigestor



Fonte: Google maps.

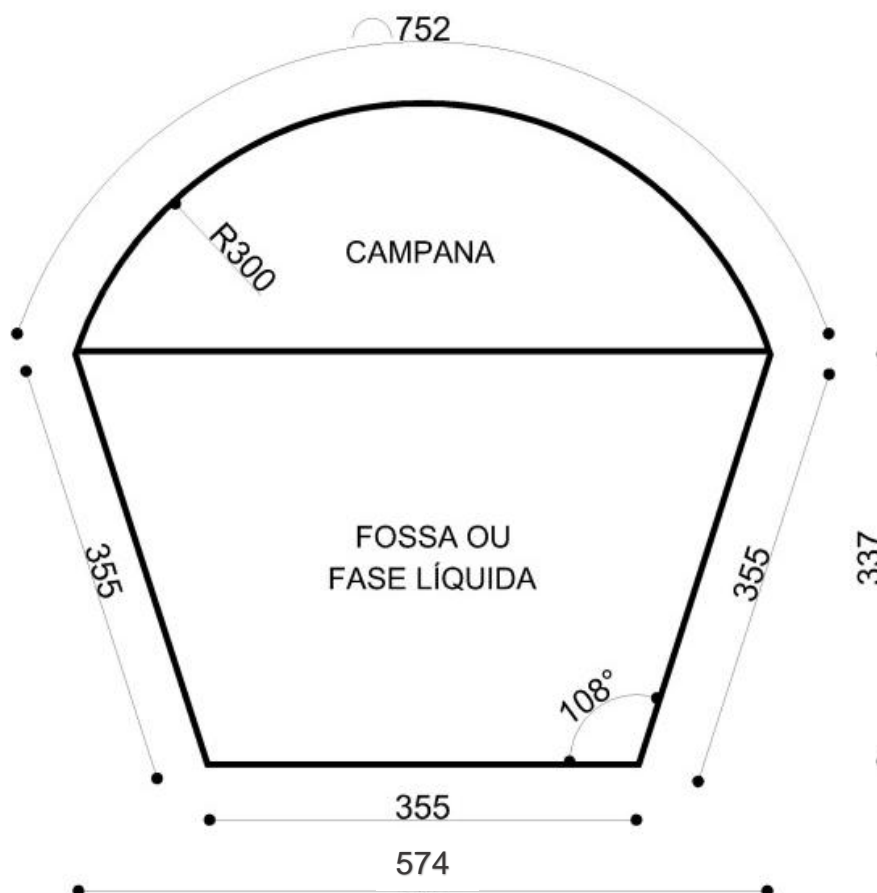
Tabela 6 – Dimensões para a construção do biodigestor

Descrição	Valores
Perímetro total transversal (campana mais fossa)	18,84 m
Porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco	43,46%
Lateral, base ou largura menor da fossa	3,55 m
Largura maior da fossa	5,74 m
Profundidade da fossa	3,37 m
Área transversal da fossa	15,69 m ²
Área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana	26,16 m ²
Área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás	10,46 m ²
Volume total do biodigestor (campana mais gás)	248,53 m ³
Volume total da fossa	149,12 m ³
Volume total do gás	99,41 m ³
Volume da caixa de entrada	6,95 m ³
Volume da caixa de saída	20,85 m ³

Fonte: Autora (2017).

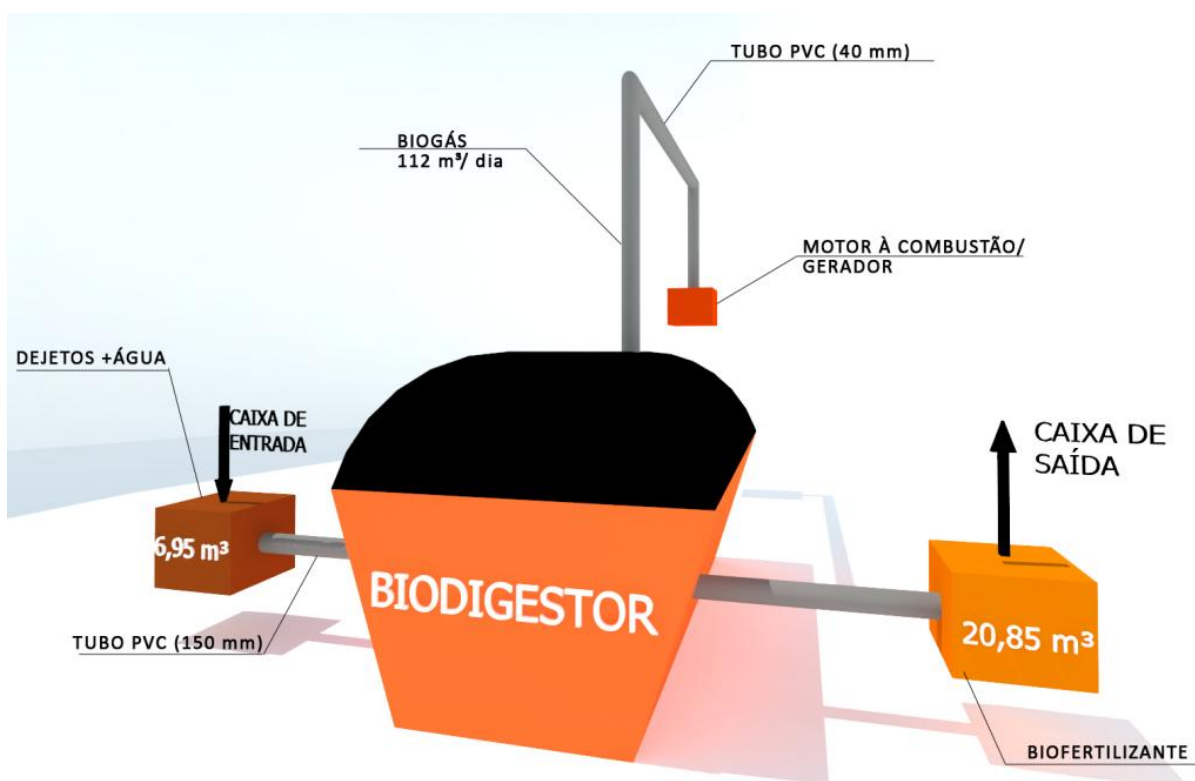
A FIG. 8 e a FIG. 9 a seguir mostram, respectivamente, um corte com as dimensões e um desenho representando o biodigestor dimensionado para a propriedade em estudo.

Figura 8 – Corte com as dimensões do biodigestor (em cm)



Fonte: Própria autora (2017).

Figura 9 – Representação do biodigestor dimensionado para a propriedade em estudo



Fonte: Própria autora (2017).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os biodigestores constituem-se como importantes instrumentos de sanitização dentro da propriedade rural, pois além da carga de dejetos animais (fezes e urina) podem também receber resíduos provenientes das instalações sanitárias da propriedade. Seus benefícios vão além dos ganhos ambientais, pois também podem gerar economia devido ao fato do biogás poder ser utilizado para produção de energia elétrica e do biofertilizante substituir os fertilizantes convencionais utilizados.

Estima-se que a quantidade de dejetos produzida na fazenda estudada poderá proporcionar uma produção diária média de 112 m³ de biogás, o qual poderá proporcionar uma economia mensal de R\$ 1679 proveniente da geração de energia elétrica. Além disso, a instalação do biodigestor na propriedade em questão ajudaria a solucionar o problema com o descarte dos dejetos, acarretando benefícios ambientais como a não poluição/contaminação dos corpos d'água e também benefícios na saúde humana como diminuição de possíveis doenças ocasionadas pelos patógenos contidos nos dejetos.

Em relação à escolha e dimensionamento do biodigestor, o biodigestor canadense, do ponto de vista estrutural, mostrou ser uma boa opção para o tratamento dos dejetos bovinos, pois ele é de fácil construção e não ocuparia um espaço muito grande na propriedade.

Para um futuro estudo, poderia ser realizada uma análise do custo médio para instalação e operação do biodigestor estudado, assim como o cálculo do prazo de retorno do investimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BARRERA, P. **Biodigestores**: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011.108p.

BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P. de.; PEREIRA, J. A. A. Evolução da legislação ambiental no Brasil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, set./dez. 2009. Disponível em: <<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/1146/852>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

BRASIL. **IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-povo/caracteristicas-da-populacao.html>> Acesso em: 19 mar. 2017.

BRASIL. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional por amostras de domicílios – Síntese de indicadores 2015**. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. **Plano plurianual (2016-2019) desenvolvimento, produtividade e inclusão social**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <[file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/PPA%20-%2020152019%20ASCOM%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/PPA%20-%2020152019%20ASCOM%20(3).pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2017.

BRASIL. Ministério da saúde. FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). **Panorama do Saneamento Rural no Brasil**. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/web/guest/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil?inheritRedirect=true>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

BRASIL. Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. http://www.abrelpe.org.br/noticias_detalhe.cfm?NoticiasID=2091>. Acesso em: 19 mar. 2017.

CAMPOS, O. F.; MIRANDA, J. E. C.(Ed.). **Gado de leite**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 3. Ed. Ver. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 311p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes//publicacao/489274/manejo-e-utilizacao-de-dejetos-de-suinos-aspectos-agronomicos-e-ambientais>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

CARVALHO, A. **Modelação matemática do processo de digestão anaeróbia**. 2014. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2014. Disponível em: <https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/5816/1/msc_alfcarvalho.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

CASTILHO JUNIOR, A. B. de. (Coord.). **Resíduos sólidos: gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água – prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. 475 p.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuais.** 2. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 380p.

DEGANUTTI, R. et al. Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada. In: **Encontro de Energia Meio Rural**, 4, 2002. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. UNESP. São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022002000100031&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 15 abr. 2017.

ENSMINGER, M. E.; OLDFIELD, J.E.; HEINEMANN, W.W. Feeds & nutrition. 2. Ed. California: The Ensminger Company, 1990. 1544p apud FERREIRA, J. **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de ciências.** 2013. 33p. Monografia (Especialização no Ensino de Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2559/1/MD_ENSCIE_III_2012_35.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2017.

FERREIRA, J. **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de ciências.** 2013. 33p. Monografia (Especialização no Ensino de Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2559/1/MD_ENSCIE_III_2012_35.pdf>. Acesso em: 12 março 2017.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR.** 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85585/224646.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. (Ed.). **Gestão ambiental na agropecuária.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 310 p.

IBRAHIN, F. I. D.; IBRAHIN, F. J.; CANTUÁRIA, E. R. **Análise Ambiental: gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes.** São Paulo: Érica, 2015. 144 p.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado.** 2014. 55 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011533.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista de Política Agrícola**, n. 3, Jul./Ago./Set. 2006. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/443463/aproveitamento-de-dejetos-de-animais-para-geracao-de-biogas>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C.F.; LOPES, J.D.S. Construção e operação de Biodigestores. Viçosa-MG. CPT. 2009. 158 p. apud SILVA, J. E. P. **Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na etec “orlando quagliato” em santa cruz do rio pardo, SP.** 2016. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu-SP, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138855/silva_jep_me_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 15 abr. 2017.

MACEDO, F. J. **Dimensionamento de biodigestores para tratamento de dejetos da produção suína.** 2013. 117 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/125072/TCC%20FI%20C3%A1via%20Junqueira%20de%20Macedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais.** 4. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 579p.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos.** Viçosa, MG: UFV, 2014. 241p.

MOTTA, K. U. **Avaliação da geração de biogás de um biodigestor de dejetos bovinos e suínos.** 2012. 127 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36178/R%20-%20D%20-%20KENIA%20UNFER%20MOTTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

PALHARES, J.C.P. Biodigestores, a solução? Revista: Suinocultura Industrial, n. 07, 2007, Ed. 208, ano 30 apud SILVA, J. E. P. **Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na etec “orlando quagliato” em santa cruz do rio pardo, SP.** 2016. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu-SP, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138855/silva_jep_me_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 15 abr. 2017.

PEDERIVA, A. C. et al. In: SEMANA INTERNACIONAL DA ENGENHARIAS DA FAHOR, 2, 2012, Horizontina-RS. **Gestão Ambiental: análise de viabilidade e dimensionamento de um biodigestor para geração de energia elétrica e biofertilizante.** Horizontina-RS, 2012. Disponível em: <[http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2012_3.%20GEST%20C3%83O%20AMBIENTAL%20-%20AN%20C3%81LISE%20DE%20VIABILIDADE%20E%20DIMENSIONAMENTO%20DE%20UM%](http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2012_3.%20GEST%20C3%83O%20AMBIENTAL%20-%20AN%20C3%81LISE%20DE%20VIABILIDADE%20E%20DIMENSIONAMENTO%20DE%20UM%20)>

20BIODIGESTOR%20PARA%20GERA%C3%87%C3%83O%20DE%20ENERGIA%20EL%C3%89TRICA%20E%20BIOFERTILIZANTE.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

PHILIPPI, A.; AGUIAR, A. de O. Resíduos Sólidos: características e gerenciamento. In: PHILIPPI, ARLINDO (Ed.). **Saneamento, saúde e ambiente**. Barueri, SP: Manole, 2005. p. 267-321.

PHILIPPI, A.; MALHEIROS, T. F. Saneamento e saúde pública: integrando homem e ambiente. In: PHILIPPI, ARLINDO (Ed.). **Saneamento, saúde e ambiente**. Barueri, SP: Manole, 2005. p. 3-31.

RENK, J. J. **Diagnóstico da destinação dos resíduos recicláveis e perigosos na área rural de Ilha Solteira/SP**. 2012. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2012. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/defers/docentes/mauricio/pdf/Proex/TCC%20com%20ficha.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

RESENDE, J. A. et al. **Circular Técnica**. Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizantes por biodigestão anaeróbica, Juiz de Fora, n.110, set. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/publicacao/1025416/dejetos-bovinos-para-producao-de-biogas-e-biofertilizante-por-biodigestao-anaerobica>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

RIBEIRO, D. S. Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida. **Revista Holos**, ano 27, v. 1. 2011. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/269/418>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

ROVERSI, C. A. **Destinação dos resíduos sólidos no meio rural**. 2013. 47p. Monografia (Especialista em Gestão Ambiental em Municípios) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Medianeira, Medianeira, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4600/1/MD_GA_MUNI_2014_2_77.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2017.

SCHALCH, V. et al. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Hidráulica e Saneamento. São Carlos. Out. 2002. Disponível em: <http://www.falcoit.com.br/blog/images/easyblog_images/500/GESTAO-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-2002.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

SILVA, J. **Papo-cabeça: saúde na roça**. São Carlos: Embrapa, 2004. Disponível em: <http://saneamento.cnpdia.embrapa.br/tecnologias/Revista_Papo_Cabeca.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

SILVA, J. E. P. **Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na etec “orlando quagliato” em santa cruz do rio pardo, SP**. 2016. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu-SP, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138855/silva_jep_me_bot.pdf?squence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 15 abr. 2017.

SILVA, W. T. L. **Saneamento básico rural**: ABC da agricultura familiar. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SGANZERLA, E. Biodigestor, uma solução. Porto Alegre: Agropecuária, 1983, apud PEDERIVA, A. C. et al. In: SEMANA INTERNACIONAL DA ENGENHARIAS DA FAHOR, 2, 2012, Horizontina-RS. **Gestão Ambiental**: Análise de viabilidade e dimensionamento de um biodigestor para geração de energia elétrica e biofertilizante. Horizontina-RS, 2012. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2012_3.%20GEST%C3%83O%20AMBIENTAL%20-%20AN%C3%81LISE%20DE%20VIABILIDADE%20E%20DIMENSIONAMENTO%20DE%20UM%20BIODIGESTOR%20PARA%20GERA%C3%87%C3%83O%20DE%20ENERGIA%20EL%C3%89TRICA%20E%20BIOFERTILIZANTE.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

VELOSO, A. V. **Aplicativo computacional para dimensionamento de um biodigestor piloto**. 2011. 89p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE, 2011.