

PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA BIODIGESTOR PARA FORNECIMENTO ALTERNATIVO DE GÁS E ENERGIA NAS COMUNIDADES DA REGIÃO AMAZÔNICA – AM

Thiago Barros Buente Teixeira (Centro Universitário Padre Anchieta)
Raquel Carnivalle Silva Melillo (Centro Universitário Padre Anchieta)

RESUMO

No Brasil, milhares de pessoas sofrem com a falta de distribuição de energia elétrica, e, em sua maioria vivem em pequenas comunidades, localizadas majoritariamente na região amazônica, que por suas particularidades geográficas depende principalmente de sistemas isolados de energia. A busca por tecnologias que possam substituir as fontes de energia estão sendo intensificadas por pesquisadores. Vem ganhando destaque em meio a esses estudos a utilização de resíduos industriais, agrícolas e urbanos; e uma das formas mais visadas são os biodigestores (geradores de biogás), o biogás é composto principalmente por metano e gás carbônico com grande aplicabilidade, seja para queima ou para geração de energia elétrica. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é projetar um biodigestor que atenda a cem pessoas de comunidades isoladas da Amazônia. Trazendo uma alternativa viável, contribuindo não só com o desenvolvimento local, mas também com o desenvolvimento social e econômico, além de melhoria nas condições ambientais e na qualidade de vida. De acordo com os cálculos, considerando somente iluminação e gás natural, concluiu-se que a comunidade economizaria R\$205,92 por mês na conta de energia e o biodigestor produziria o equivalente a R\$5.140,00 reais em GLP (Gás de Petróleo Liquefeito).

Palavras-chaves: acesso à energia; pobreza energética; Amazônia; fontes renováveis de energia; políticas públicas, biodigestor, biogás.

ABSTRACT

In Brazil, thousands of people suffer from the lack of electricity distribution, and mostly live in small communities, mostly located in the Amazon region, which by their geographical particularities depends mainly on Isolated energy systems. The search for technologies that can replace energy sources is being intensified by researchers. It has been gaining prominence amid these studies the use of industrial, agricultural and urban waste; And one of the most targeted forms are the biodigesters (biogas generators), the biogas is mainly composed of methane and carbonic gas with great applicability, either for burning or for generating electricity. In this context, the objective of this work is to design a biodigester that meets one hundred people from isolated communities in the Amazon. Bringing a viable alternative, contributing not only to local development, but also to social and economic development, as well as improvement in environmental conditions and quality of life. According to the calculations, considering only lighting and natural gas, it was concluded that the community would save R \$205,92 per month in the energy bill and the biodigester would produce the equivalent of R \$5.140, 00 reais in LPG (liquefied petroleum gas).

Keywords: access to energy; Energy poverty; Amazon; renewable energy sources; Public policies, biodigester, biogás.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Rodrigues et. al. (2006), para o desenvolvimento econômico e social, a energia elétrica é imprescindível, o acesso a fonte de energia contribui significativamente para qualidade de vida e bem-estar social. No Brasil, há uma grande quantidade de comunidades que não estão ligadas à rede de distribuição de energia, e, localizam-se em sua maioria na Amazônia.

O fornecimento de eletricidade, em algumas comunidades isoladas da Amazônia, já ocorre por meio de sistemas eletricamente isolados do interior. No estado do Amazonas essas comunidades são atendidas pela Companhia Energética do Amazonas – CEAM, que em algumas localidades se responsabiliza pelo fretamento fluvial para o transporte do combustível e lubrificante, e entretanto, na maioria das localidades, tal suprimento é deficiente, com altos índices de indisponibilidade de geração, que implicam em racionamentos frequentes e baixa confiabilidade nos serviços prestados (FILHO, 2006).

Considerando a situação, conclui-se que a implantação de um sistema confiável de suprimento de eletricidade nas comunidades isoladas, possibilitaria uma melhoria da qualidade de vida, juntamente com uma melhor qualidade na educação, acesso à saúde e água de qualidade (GOUVELO et. al., 2003).

Nas últimas décadas, houve uma intensificação das atividades humanas com o aumento desordenado da população e o crescimento sem planejamento de grandes núcleos urbanos, gerando um aumento significativo na produção de resíduos, que são despejados em locais não preparados para recebê-los e que provocam graves problemas socioambientais (ARCADIS, 2010).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), metade dos mais de cinco mil municípios brasileiros destinam seus resíduos para lixões, configurando um cenário inadequado que necessita de solução. Uma das soluções mais recentes foi dada através da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), de 2010, regulamentando a destinação final dos resíduos sólidos produzidos, agindo como marco regulatório. Com isso, estabelece-se princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes a serem seguidos.

À frente das políticas públicas, como carro chefe, está a realização de ações estruturantes de esforços em diferentes instâncias de governo, a fim de: minimizar a geração de resíduos; incentivar a logística reversa; promover a valorização dos resíduos

por conta da geração de empregos em processos de reciclagem, dignos e reconhecidos; pelo propiciar o correto tratamento dos materiais dispostos, evitando danos ao ambiente e à saúde; e, finalmente, haver o aproveitamento do inevitável subproduto do lixo, o biogás (ARCADIS, 2010).

O biogás é uma mistura de vários tipos de gases, resultantes da degradação anaeróbia de matéria orgânica dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários e dos efluentes industriais e esgotos domésticos tratados, podendo ser queimado em fogões, motores, caldeiras ou geradores para gerar energia elétrica, substituindo o gás de botijão, lenha, querosene ou gasolina (MATTOS et. al., 2011), que são recursos comumente empregados e que envolvem gastos expressivos, além de muitas vezes não estarem disponíveis com facilidade.

A implantação do sistema de biogás, pode suprir necessidades básicas para a subsistência de comunidades e melhorar condições sociais da população, contribuindo ainda com a redução dos impactos ao meio ambiente. A quantidade de energia gerada, obviamente, será reduzida se comparada ao produzido em processos como o das hidrelétricas, principalmente devido ao tamanho dos biodigestores, mas, por outro lado, os impactos sociais são mínimos e os benefícios para meio ambiente e população são expressivos (GASPAR, 2003).

O presente trabalho tem como objetivo o levantamento de opções e desenvolvimento de um projeto para a implementação de um sistema de biodigestor rural em comunidades da Amazônia, como uma alternativa viável, a fim de contribuir com o desenvolvimento da população local, que em sua maioria são famílias carentes, ribeirinhas, sofrendo com a falta de abastecimento de gás e energia, gerando desenvolvimento econômico e social, além de melhoria nas condições ambientais e na qualidade de vida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gerenciamento de resíduos e utilização de biodigestores para geração de energia

Quando não gerenciados de forma adequada os resíduos, segundo Holtz (2011), podem trazer prejuízos para sociedade, impactando na qualidade de vida e gerando tanto

problemas de saúde para a população quanto degradação do meio ambiente. Uma forma de gerenciar resíduos e ainda gerar energia elétrica, é com a utilização de biodigestores.

Biodigestor é um reservatório fechado, de concreto, alvenaria ou outros materiais, onde ocorre um processo anaeróbico de decomposição da matéria orgânica, resultando na produção de biogás e biofertilizante (FUKAYAMA, 2008). Para Barreira (2003), o biogás pode ser utilizado para fazer funcionar motor, geladeira, lampião, secadores diversos; podendo ainda substituir o gás de cozinha para cocção e a energia elétrica em aparelhos cujo funcionamento é determinado, como televisão, rádio e ferro de passar; e o biofertilizante, segundo Mattos et. al. (2011), pode ser usado como adubo orgânico, fortalecendo o solo e desenvolvendo as plantas. O biogás não apresenta mau cheiro e é rico em nitrogênio, uma substância muito carente no solo, porém fundamental na composição dos sistemas vivos. O nitrogênio disponível no solo passa por um processo de fixação biológica ou desnitrificação, ao ser transformado em nitrato pela ação de organismos vivos, o nitrato é incorporado nas cadeias dos compostos orgânicos, compondo os aminoácidos, que são passados na cadeia alimentar (MARTINS et. Al. 2003).

Com a crise do petróleo, na década de 1970, de acordo com Denagutti et. al. (2002), foi trazida para o Brasil a tecnologia dos biodigestores. O Brasil dispõe de condições climáticas favoráveis para explorar o grande potencial energético produzido pelos biodigestores, através da utilização do biogás, deixando de utilizar o gás de cozinha (mistura de butano e propano) e o combustível líquido (querosene, gasolina e diesel), todos esses derivados de petróleo, nos meios rural e urbano (BARREIRA, 2003).

2.1.1. Legislação

O uso de tecnologias sustentáveis, de acordo com Machado (2014), assegura a geração de empregos em negócios com boa lucratividade, podendo diminuir impactos de custos das administrações públicas e ainda elevarem o país a um status de primeiro mundo. No Brasil, os incentivos legais para tal prática começam com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) brasileira, juntamente com a *Lei 12.305/10* e o decreto *7.404/10*, que incentivam a implantação de biodigestores no país, estabelecendo uma ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.

A Lei 12.305/2010, em seu art. 9, diz que “na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução,

reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”, desenvolve em seu § 1, que as tecnologias poderão ser utilizadas visando a recuperação energética dos resíduos sólidos.

A biodigestão já possui um uso significativo no tratamento do esgoto urbano no Brasil e uso crescente no tratamento de resíduos sólidos de criadouros intensivos, principalmente de suínos e bovinos. Pode ser utilizada como alternativa de destinação de resíduos sólidos e redução de suas emissões prejudiciais. (MACHADO, 2014)

Em adição, justificando a importância da biodigestão e de seu emprego, o Decreto 7.404/10, regulamentador da PNRS, estabelece que, para esta nova tecnologia, não será necessário aguardar regulamentação específica dos ministérios envolvidos.

Ações para a diminuição das emissões de gases, tornam-se extremamente necessárias para a minimização dos impactos no clima. Os municípios, desta maneira, compartilhariam com a União os esforços para a efetivação dos compromissos internacionais já assumidos.

Encontra-se em tramitação, o Projeto de Lei 6559/13, que instituiria normas para a exploração das atividades econômicas de geração de energias, com biogás originado do tratamento sanitário de resíduos e efluentes orgânicos, em especial os gerados em atividades de produção agropecuária e agroindustrial, deixando claro em seu § 4º que atividades geradoras de Biogás seriam o reguladas e fiscalizadas pela União, podendo ser exercidas por produtores rurais, cooperativas agroindustriais, indústrias, empresa ou consórcio de empresas constituídos sob as leis brasileiras, com sede e administração no País.

2.1.2. Tecnologias aplicadas na confecção de biodigestores

Biodigestores de diversos modelos foram desenvolvidos com o intuito de tratar os resíduos orgânicos de residências ou de pequenas propriedades agrícolas. Abaixo, alguns desses biodigestores foram detalhados quanto à aplicação e estrutura, foram levantados os mais recorrentes na literatura para compreensão dos modelos, que podem contribuir para este trabalho.

a. Biodigestor chinês

Segundo Deganutti et. al. (2002), o biodigestor chinês é constituído quase todo por alvenaria, é projetado para ser barato e economizar espaço, por isso sua instalação ocorre toda abaixo do solo, conforme observa-se na Figura 1.

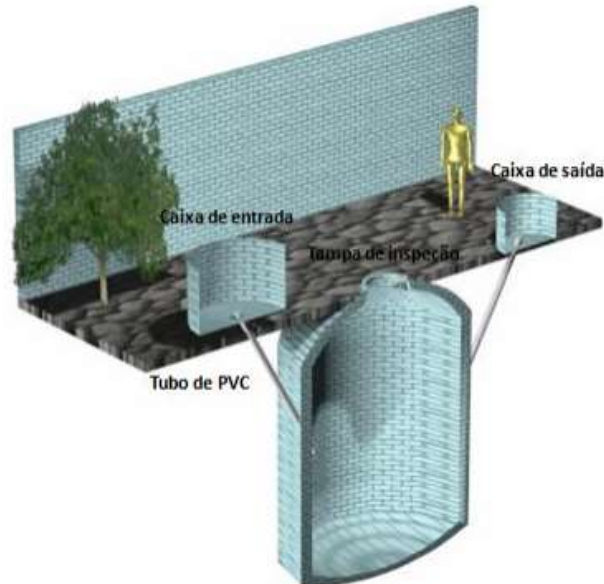


Figura 12 – Vista tridimensional Biodigestor Chinês.
Fonte: DEGANUTTI et. al, 2002.

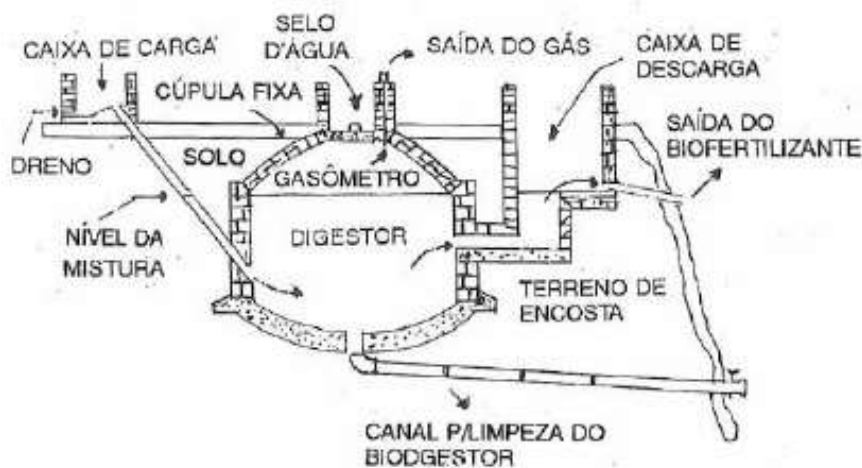


Figura 13: Esquema de um biodigestor chinês.
Fonte: Barrera (apud GONÇALVES, 2012)

Modelos construídos em alvenaria, tendem, a envolver custo baixo, porém, devem ser muito bem projetados para prevenir a ocorrência de vazamentos de gás. Para garantir o bom funcionamento, o substrato deve ser adicionado ao reservatório com uma frequência conveniente para que o reator seja considerado de alimentação contínua; necessita-se de um abastecimento de modo contínuo de matéria orgânica e, para que não

haja entupimentos, no caso da produção de biogás, deve-se apresentar uma porcentagem de 8% dos sólidos totais.

Nazaro (apud Kalia et. al, 1998) acompanhou por 10 anos o comportamento de um biodigestor Chinês, instalado na Índia, com capacidade para processar 3 m³, alimentação diária de 60 kg e um tempo de retenção hidráulica de 55 dias, observou que temperatura do substrato variou consideravelmente de acordo com a temperatura ambiente, e, a produção diária, também variou de acordo com a temperatura, tendo maior eficiência nos períodos de verão (2000 L/dia de biogás, aproximadamente), e, um decréscimo de 23-37 % no inverno (1600L/dia), sendo que nos primeiros cinco anos houve uma queda de 34% na produção de biogás e, nos cinco anos subsequentes, o material tendenciosamente se acumulava na região do reator, causando curtos-circuitos.

Nota-se que para o presente modelo, são necessárias limpezas regulares do digestato, para diminuir as ocorrências de curto circuito e aumentar a eficiência do digestor.

- b. **Biodigestor indiano** posto de uma câmara de digestão e de um depósito de gás móvel que se caracteriza por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. O fato de o gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água, reduz as perdas durante o processo de produção do gás (DEGANUTTI et. al., 2002).



Figura 14 - Vista tridimensional Biodigestor Indiano.
Fonte: DEGANUTTI et. al, 2002.

Quando construído, apresenta o formato de um poço, conforme representado na Figura 3. Movimenta-se para cima e para baixo de acordo com a produção de biogás. Ocupa pouco espaço e a construção, por ser subterrânea, dispensa o uso de reforços, tais como cintas de concreto. Caso a cúpula seja de metal, deve-se fazer uso de uma boa pintura com uso de antioxidante.

Segundo Deganutti et. al. (2002), é uma característica desse modelo a operação em pressão constante, visto que à medida que o biogás é gerado e não é consumido, a campânula tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume interno e mantendo assim a pressão constante. Para alimentá-lo, o resíduo utilizado deve apresentar concentração de sólidos totais não superior a 8%, facilitando a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitando entupimento dos canos. O abastecimento, como no modelo chinês, é contínuo. Modelo de fácil construção, mas o gasômetro de metal encarece o custo final.

c. Homebiogás 2.0

Desenvolvido em Israel, seu principal diferencial está na praticidade de instalação; comprado pela internet e entregue com manual de instrução, podendo ser montado pelo próprio proprietário. De acordo com Ecoeficientes (2019), peças encaixáveis e de fácil manuseio compõe o sistema, que se define como um sistema autônomo de digestão anaeróbia para tratar adequadamente os resíduos orgânicos (restos alimentares, esterco animal e fezes humanas).



Figura 15 - Homebiogás.
Fonte: Ecoeficiente, 2017.

Por possuir dimensões reduzidas, se comparado ao demais modelos, este sistema torna-se incapaz de produzir biogás para produção de energia elétrica, produzindo apenas para queima. De acordo com Rosa (2017), o equipamento possui manutenção relativamente simples e, de acordo com o fabricante, não conta com nenhum sistema de aquecimento, recomendando-se que sua instalação seja em regiões onde a temperatura média anual não seja menor que 17 °C. Conta ainda com uma cobertura de captura solar que funciona como uma estufa, retendo o calor fornecido durante o dia dentro do tanque de digestão.

Este sistema é ideal para residências uni familiares, pois tem baixo custo de instalação e fácil manutenção. Ainda de acordo com informações fornecidas pelo fabricante, o biodigestor precisa de um tempo entre 2 à 4 semanas para dar partida no processo de digestão e iniciar a produção de biogás, seu tanque de digestão tem capacidade para 650 litros de substrato, e a alimentação deve ser realizada diariamente com 6 a 15 litros de substrato. (ECOFICIENTES, 2019). Este montante, deve gerar gás suficiente para 2 a 3 horas de cozimento diárias em fogão de boca única, e simultaneamente, o sistema ainda produz, em média, 5 a 10 litros de fertilizante líquido por dia, de acordo com o fabricante.

d. Eucolino

Desenvolvido para gerar energia através do biogás, por meio de resíduos orgânicos variados, como esterco bovino, sobras de alimentos e resíduos de jardinagem, possui um sistema totalmente mecanizado e automatizado, fazendo com que o custo de implantação e manutenção sejam relativamente altos. (ARAUJO, 2017)



Figura 16: EUCOLINO.
Fonte: Bioferm, 2019.

O produto pode ser fornecido em diversos tamanhos, variando de acordo com o volume de resíduo produzido. Para este trabalho, utiliza-se como objeto de comparação o menor biodigestor disponível, com uma estrutura modular de 15,24m x 3,35m x 3,35m e capacidade para aproximadamente 96m³ de resíduo. Apesar de ser um reator de baixa escala, de acordo com o fabricante, não é recomendado para instalações unifamiliares, sendo mais indicado para condomínios, shoppings, unidades de agricultura familiar, entre outros.

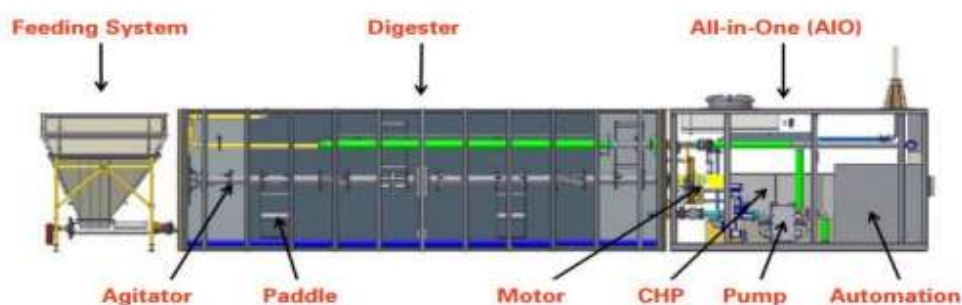


Figura 17: Detalhamento do biodigestor EUCOLino.
Fonte: Bioferm, 2019.

É composto por 4 módulos que formam o sistema, segundo o fabricante (BIOFERM, 2019) o sistema de alimentação², o digestor³, o armazenamento de gás⁴ e o MCT⁵.

Para garantir o funcionamento de todos os componentes elétricos, como bombas, misturadores em pás e alimentadores, o sistema consome aproximadamente 12% da energia gerada. O referido sistema é automatizado, com seu desempenho podendo ser acessado a partir de qualquer computador, e, por ser um sistema sofisticado, seu custo de implantação e manutenção é alto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

² Recebe os resíduos orgânicos, tritura³ e mistura com água para alcançar a relação sólido/líquido ideal (aproximadamente 15%). A câmara de entrada conta com um sistema helicoidal automatizado, que assegura a alimentação uniforme do biodigestor. O substrato é bombeado a cada 1 hora para o sistema e fica retido em um funil, que detém material suficiente para dois dias de alimentação.

³ O tanque de digestão conta com um sistema de agitação de pás que move o substrato ao longo do biodigestor durante um tempo de retenção de 28 dias. Inicialmente, o sistema pode ser vendido com uma unidade de digestão. Entretanto, caso haja necessidade, o sistema possui capacidade de expansão em série para dois ou mais tanques digestores.

⁴ O biogás produzido O biogás produzido durante o processo de fermentação é recolhido e armazenado em um gasômetro com capacidade de armazenamento de 25m³ de biogás (com possibilidade de expansão para 50m³).

⁵ O gás é canalizado até a MCT localizada no fim do sistema. Essa unidade, assim como as outras, pode ser ampliada de acordo com a eficiência do processo e qualidade do substrato. Os sistemas possuem geradores com capacidade instalada variando entre 18kW até 100kW. O sistema EUCOLino é operado à temperaturas mesofílicas.

O plano de trabalho adotado partiu de uma revisão bibliográfica tendo como foco consultas a bases científicas e bibliografias específicas acerca dos principais sistemas para projetar e implementar biodigestores, baseando-se em modelos convencionais e abordagens modernas que tragam maior eficiência e baixo custo.

Uma vez levantado o referencial teórico inicial acerca dos biodigestores, como sua aplicação, modelos e dados relevantes quanto ao seu funcionamento, foram consultadas as legislações vigentes referentes ao biogás para confirmar se as opções analisadas atendem as especificações necessárias.

Prosseguindo com o estudo, foi realizada a análise comparativa e selecionado o modelo entendido como mais coerente com a realidade e disponibilidade de recursos da região em que será implementado. Então, foram pesquisadas inovações tecnológicas e adaptações que pudessem ser aplicadas ao modelo selecionado em vias de tornar o projeto mais adequado à realidade da comunidade que irá recebê-lo. Dessa forma, finalmente, foi desenvolvido o projeto executivo com detalhamento das especificações, levando em consideração todas as ponderações anteriores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da área de estudo

A Amazônia Legal abrange aproximadamente 3.800.000 km², dez estados brasileiros (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, acrescidos da totalidade do Estado de Mato Grosso e dos municípios do Estado do Maranhão), possui cerca de 25.000 km de rios navegáveis (IBGE, 2014). Uma parcela significativa desse espaço está fora do Sistema Interligado Nacional para a distribuição de energia elétrica, logo, esta região torna-se um grande desafio para a eletrificação rural no país. Geralmente as comunidades estão localizadas em áreas remotas, de difícil acesso, com uma estrutura de transporte precária e dificuldade de comunicação (PINHEIRO et. al., 2012).

4.1.1. Acesso à energia elétrica

Na região amazônica localizam-se 99% dos consumidores de energia em sistemas isolados do país (PINHEIRO et. al., 2012) e para que todas essas pessoas sejam atendidas, iniciativas são necessárias. Todavia, estender a rede elétrica para todas as regiões carentes

da Amazônia, torna-se uma opção inviável por dois motivos: as condições naturais e topográficas do local; e os custos, pois para beneficiar um número relativamente baixo de pessoas, o investimento é alto (GÓMEZ et. al, 2011).

Entretanto, não se trata apenas de propiciar o acesso à energia, a mesma deve ser direcionada para a melhoria da qualidade de vida dos que vivem no local, assim como acesso à saúde e à educação. Essa energia deve ser utilizada para fins produtivos, proporcionando o surgimento de novos negócios nas comunidades e/ou melhoria dos que já existem.

4.1.2. As comunidades

Para uma melhor análise do público para o qual o trabalho é voltado, cabe aqui uma breve caracterização de algumas comunidades na região amazônica, conforme Tabela 1, que descreve o perfil socioeconômico e energético de algumas das comunidades ribeirinhas, realizado em 2000, pelo NEFEN⁶. Todas essas comunidades possuem um suprimento de energia elétrica, limitados a quatro horas/dia.

Tabela 4 – Parte do resultado do levantamento socioeconômico e energético de populações ribeirinhas.

Comunidade	Tempo até Manaus	Nº de famílias	Fonte de Renda	Renda/família (R\$)	Custo total com energia elétrica (R\$)	% da renda gasta com energia
Apostolo São Paulo	2h e 15 min	22	Mandioca, Frutas e Pesca.	89	30,9	35%
Santa Luzia	7h	12	Mandioca e Frutas	75	19,3	26%
Nossa Senhora da Cesárea	8h	16	Farinha e Monocultura	71	41,9	59%
Monte Cristo	4h10	34	Farinha	110	32,8	30%
Nossa Senhora do Livramento	3h30min	18	Farinha e Cupuaçu	85	22,0	26%

Fonte: Adaptado de NEFEN, 2002.

⁶ Núcleo de Eficiência Energética

O fornecimento de energia, no geral, é restringido a 4h/dia; os custos citados compreendem lenha, pilhas, gasolinas, querosene e velas; o diesel para eletricidade é rateado; as comunidades estão às margens de rios e a algumas horas de Manaus, a capital.

Observando a coluna de custo total mensal e, considerando a tarifa residencial rural de R\$ 0,22/kWh, qualquer consumidor dessa tabela poderia pagar pelo suprimento de sua demanda um valor máximo de R\$ 14,26, caso esta fosse fornecida pela concessionária (NEFEN, 202). No entanto, vale ressaltar que os recursos financeiros nem sempre estão disponíveis, visto o valor da renda por família, além do fato da troca de produtos ser comum, tornando ainda mais escassos seus recursos para pagar a conta, além da localização das comunidades que por si já, dificulta que as concessionárias forneçam energia elétrica.

Deve-se ainda considerar que estes dados são relativos a um levantamento efetuado em 2000. Desde então, houve um aumento significativo no preço do combustível e desta forma, presume-se que as comunidades estariam gastando consideravelmente mais. Para o presente projeto, foi considerado o levantamento realizado e as evidências de demais estudos que apontam comunidades nestas regiões remotas. Note que para definição do número de moradores a receber o sistema, foi considerado um número médio de habitantes com base no número de famílias das comunidades, considerando um valor médio de 5 indivíduos por família. Assim, foi definido o número de 100 habitantes para atendimento do modelo de biodigestor, considerado como valor de orientação para garantir o suprimento de energia.

4.2. Análise comparativa e seleção do modelo

Tendo como base os modelos detalhados anteriormente, a Tabela 2, mostra um comparativo entre eficiência, custo, facilidade na instalação, resíduos e recursos, além da legislação. Cabe ressaltar, que as informações contidas na tabela, ficaram restritas aos poucos dados disponibilizados em manuais, matérias de divulgação pública e suas devidas referências.

Tabela 5: Análise comparativa dos modelos.

Modelos	Eficiência	Instalação	Custos	Resíduos e Recursos	Legislação
Biodigestor Chinês	Produção média de 2,7m ³ ao dia	Fácil, com mão de obra especial.	Baixo	Substrato (ST*) não superior a 8%	A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), juntamente com a <i>Lei 12.305/10</i> e o decreto <i>7.404/10</i> , incentivam a implantação de biodigestores no país, estabelecendo uma ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.
	Média de substrato 489kg/m ³				
Biodigestor Indiano	Produção média de 3,0 m ³ ao dia	Fácil	Gasômetro pode encarecer custo final.	Substrato (ST*) não superior a 8%	
	Média de substrato 538kg/m ³				
Homebiogás 2.0	Produção média não informada.	Fácil	Baixo	Tipo de resíduo: Doméstico	
	Volume digerido de 15l/dia			Sem indícios que atenda 100 pessoas.	
EUCOlino	Produção média não informada. Volume digerido de 200m ³	Difícil	Alto	Tipo de resíduo: Agropecuário e Doméstico	
	Fornece eletricidade à 50 casas/ano e aquece 61 casas/ano			Substrato (ST*) 15 – 20%	
	Volume digerido de 96m ³				

Fonte: Bonturini et. al. (2012), Gonçalves (2012), Deganutti et. al., PL 6559/13, Elaborado pelo autor, 2019.

Verifica-se que o biodigestor Indiano se adequa às necessidades deste trabalho, pelo fato de possuir fácil instalação e baixo custo de manutenção e instalação, se adequando às necessidades do estudo. O modelo Chinês, por sua vez, foi descartado por conta dos apontamentos quanto à eficiência descritos anteriormente neste trabalho.

Quanto ao Homebiogás, tal digestor, em partes, se adequa à proposta deste trabalho, pois possui fácil instalação e baixo custo de manutenção. No entanto, este sistema é adequado para pequenas unidades, e, de acordo com seus fabricantes, pesquisas e

referências, não apresenta versões maiores, a fim de atender as comunidades aqui estudadas.

Finalmente, o EUCOLino, por seu custo alto e difícil instalação foi considerado o menos indicado para a realidade proposta por esse trabalho e assim, foi igualmente descartado como modelo a ser empregado.

Com base na análise comparativa dos modelos, portanto, para este trabalho, foi utilizado como inspiração o Biodigestor no modelo Indiano, porém, com adaptação aos materiais disponíveis nas lojas de material de construção das cidades próximas das comunidades, usando como base o modelo construído por Mattos et. al. (2011) em sua cartilha.

4.3. Proposta do biodigestor

- Atender uma média de 5 pessoas por família, considerando uma comunidade de 100 pessoas;
- Tratar uma parcela dos resíduos orgânicos das residências das comunidades;
- Capacitar as pessoas da comunidade para o gerenciamento dos recursos e da produção, para gestão de negócios e manutenção dos equipamentos;
- Disponibilizar uma tecnologia de gaseificação adaptada aos insumos locais, com um custo baixo na instalação e na manutenção;
- Possa ser operado em qualquer temperatura, através de uma eficiência térmica elevada.

4.3.1. Dimensionamento

De acordo com a Tabela 1, adaptada de Nefen (2002), cada comunidade gasta uma porcentagem da sua renda com energia, que envolve lenha, GLP, pilhas, gasolina, querosene e velas. Com isto, todo o gás gerado servirá para a iluminação, para o cozimento de alimentos, para o banho quente e para geladeira.

Considerou-se, para o dimensionamento, 20 lâmparas (uma por família), acesas 8 horas por dia, 20 fogões de boca única, queimando 3 horas por dia, 100 banhos diários, de 5 minutos por pessoa, e 20 geladeiras ligadas todos os dias.

Serão utilizados os resíduos orgânicos da comunidade, determinou-se 1,87kg de resíduo por habitante/dia, de acordo com o Relatório Anual da COMCAP de 2015. A fração orgânica deste resíduo foi calculada de acordo com os valores fornecidos por IBGE

(2010). A taxa de ST (%) foi adotada conforme encontrada por Brown et al. (2013), 21,9%.

A Tabela 3 a seguir, apresenta estimativas de consumo de biogás por pessoa, baseados em pesquisas da Embrapa (1999) e Turdera & Yura (2006).

Tabela 6 – Estimativa de consumo de biogás por pessoa na propriedade rural.

Equipamentos	Biogás
Para Cozinha	0,33m ³
Para Iluminação	0,63m ³
Para Geladeira	2,20m ³
Para Banho Quente	0,8m ³
Total necessário	3,96m ³

Fonte: Elaborado pelo ator, 2019.

A fim de conhecimento, considerando os dados da Tabela 3 e que 100 pessoas (5 por família) serão atendidas, tem-se para o consumo diário de biogás será de 19,80m³ biogás/dia.

De acordo com Bley Júnior (2009), os principais componentes de um biodigestor modelo indiano são:

- a) caixa de carga (local de diluição dos dejetos);
- b) tubo de carga (condutor dos dejetos diluídos da caixa de carga para o interior do biodigestor);
- c) câmara de biodigestão cilíndrica (local onde ocorre a fermentação anaeróbia com produção de biogás);
- d) gasômetro (local para armazenar o biogás produzido formado por campânula que se movimenta para cima e para baixo);
- e) tubo-guia (guia o gasômetro quando este se movimenta para cima e para baixo);
- f) tubo de descarga (condutor para saída do material fermentado sólido e líquido);
- g) caixa ou canaleta de descarga (local de recebimento do material fermentado sólido e líquido);
- h) saída de biogás (dispositivo que permite a saída do biogás produzido para ser encaminhado para os pontos de consumo).

Para determinar as dimensões do biodigestor, utiliza-se as fórmulas da Tabela 4.

Tabela 7: Fórmulas para determinar as dimensões do biodigestor.

Fórmula	Equação calculada	Descrição	Obs.
Volume do biodigestor	$VB = VC \times THR$ [Eq. 1] $VB = 9,90m^3$	$VB =$ Volume do biodigestor (m^3); $VC =$ Volume da carga diária (m^3/dia) $THR =$ Tempo de retenção hidráulico (dias)	TRH=5 dias
Dimensões do biodigestor	$V = \pi D^2 4 \times H$ [Eq. 2] $H = 10m$ e $D = 5m$	$V = VB$ (m^3) $D =$ Diâmetro do biodigestor (m) $H =$ Altura do biodigestor (m)	
Volume do gasômetro	$Dg = Di + 2L + 0,10$ [Eq. 3] $Dg = 7,5m$	$Di =$ diâmetro do biodigestor	L= 1,20m
Parede divisória de fases	$Hp = Hrg - Hr$ [Eq. 4] $Hp = 0,95m$	$Hp =$ altura da parede $Hr =$ altura real do biodigestor $Hrg =$ altura real do gasômetro (10,95m)	
Dimensões do cano guia	$Cg = 1 + Hrg + Hrg^2$ [Eq. 5] $Cg = 22,92m$	$Cg =$ comprimento do cano guia.	
Dimensões do cano de carga	$Cdg = Cd + 0,2$ [Eq. 6] $Cdg = 10,87m$	$Cdg =$ comprimento do cano de carga	

Fonte: Adaptado de Araújo et. al., 2015.

Para a construção de um biodigestor que supra as necessidades da comunidade de 100 pessoas, com uma carga diária de $19,80m^3$, é necessária a construção de um biodigestor com volume de $10m^3$, considerando um coeficiente de segurança.

i. Consumo diário de biogás

Levando em consideração que neste estudo o biogás gerado neste sistema terá finalidades diferentes, observa-se que, com o volume de biogás produzido diariamente, é possível: manter a chama de um fogão (de uma boca) acesa, 3 horas por dia, em todas as 20 residências da comunidade, manter 20 lâmpadas acesas, 8 horas por dia, todos os dias, manter 20 geladeira ligas 24h/dia e permite 100 banhos de 5min/dia.

Tabela 8 – Consumo diário de biogás considerando os dois cenários propostos.

Finalidade	Consumo de gás (m^3/dia)	Unidade	Tempo	Consumo total (m^3/dia)
Fogão (1 boca)	0,33	20	3h	19,8
Lâmpada c/ queimador	0,07	20	8h	11,20
Banho quente	0,8	100	8,3h	664
Geladeira	2,20	20	24h	1056

Fonte: Adaptado de BGS Equipamentos, 2019.

É importante lembrar que o biogás permite outras possibilidades de utilização, a escolha da aplicação mais adequada depende da necessidade da comunidade.

4.3.2. Tabela de produtos

Após as escolhas dos materiais, pesquisou-se preços médios de lojas da região da instalação e os preços utilizados por Mattos (2011) e Nazaro (2016). Logo, neste caso, o valor final é uma estimativa do custo real.

Tabela 9 – Orçamento parcial para o biodigestor proposto.

Item	Material	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
Estrutura Câmara de Entrada	Polietileno UV estabilizado	1	1000,00	1000,00
Cuba para câmara de entrada	Aço Inox	1	100,00	100,00
Gasômetro	EPDM	15m ²	45,00	675,00
Tubulação Sanfonada	Aço Inox 316	4m	69,90	271,60
Tubulação de gás	PEAD	2m	27,00	54,00
Válvula de Esfera 1''	PEAD	1	36,00	36,00
Flanges 1''	PVC	1	15,00	15,00
Flanges 4''	PVC	2	15,00	30,00
Vedação	PU	2	25,10	50,20
Tubo PVC 32mm	PVC	30m	27,80	834,00
Mangueira alimentadora de água	-	1	48,90	48,90
Temporizador	-	1	100,00	100,00
Parafusos	-	32	4,20	134,40
Porcas	-	32	2,10	67,20
Total de Materiais				3416,30
Mão de obra pedreiro	-	15 diárias	50	750,00
Mão de obra ajudante		15 diárias	20	300,00
Total de Serviços				1050,00
TOTAL GERAL				RS 4466,30

Fonte: Adaptado de Mattos, 2011 e Nazaro 2016.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o biogás e seus produtos não atendem grandes escalas, mas torna-se uma alternativa ambientalmente e economicamente viável, atendendo pequenos grupos de pessoas, em pequenas propriedades rurais, produzindo produtos e subprodutos que podem ser aproveitados pelo pequeno produtor, com um possível aumento de renda da propriedade, com um custo mínimo já que os insumos para a produção do biogás serão produzidos pela própria propriedade. O único custo será a construção e a manutenção do biodigestor.

Considerando que o preço do petróleo e de seus derivados estão sempre subindo, alguns produtos originários da biomassa, como o álcool, propiciam a inserção de fontes renováveis de energia. De acordo Nefen (2002), a concessionária responsável da região amazônica, cobra R\$0,22 por KWh. Neste caso, considerando somente iluminação, para um comparativo de viabilidade, nota-se que 20 lâmpadas, corresponde a 117KW/h, acesas 8h por dia, correspondem a 936KW; considerando o preço citado, a comunidade economizaria R\$205,92 por mês na conta de energia. Com o GLP (Gás de Petróleo Liquefeito); considerando que 1m³ de biogás possui equivalência energética de 0,45kg de GLP e, considerando que o biodigestor tem capacidade de produzir 19,80m³ por dia de biogás, este biodigestor geraria, diariamente, o equivalente a 891kg de GLP. Em valores, 13kg de GLP, custa em média R\$75, calculando, o biodigestor produziria o equivalente a R\$5.140,00 reais.

Contudo, na implementação de projetos de biodigestores deve prevalecer a ótica social antes da econômica. Conceder condições de desenvolvimento econômico à comunidades rurais, carentes, traz além das vantagens da vida moderna, um impacto positivo no conjunto da sociedade. Cabe ressaltar, que para planejamento e gerenciamento da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, é necessário haver uma integração nas tomadas de decisão de diferentes departamentos e setores, assim como instituições internacionais e nacionais, garantindo que as políticas de proteção a ecossistemas estejam inclusas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, B.I.M.; JUNIOR, A.U.A.; LIMA, S.F.; NETO, S.M.J. *Dimensionamento de biodigestor indiano para a cidade de Campina Grande*. Blusher Clemistry Proceedings, v.3, nº1, nov 2015.

ARAUJO, C. P. A. *Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2017.

ARCADIS T. *Produto 6 – Resumo Executivo. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD*. Ministério do Meio Ambiente – MMA. São Paulo, 2010. Disponível

em:<https://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2019.

BARREIRA, P. *Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural*. São Paulo, Ícone, 2003.

BATISTA, L. F. *Manual Técnico: Construção e operação de biodigestores modelo Indiano*. Brasília, DF: Embrater, 1981.

BIOFERM, *Eucolino – Small Scale Digester, c2019*. Anaerobic Degestion. Disponível em: <<https://www.biofermenergy.com/eucolino-1>>. Acesso em: 05 ago. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências

BRASIL. Projeto de Lei nº 6559 de 2013. Dispõe sobre as atividades relativas a geração, transporte, filtragem, estocagem e geração de energia elétrica térmica e automotiva com biogás, e dá outras providências.

BROWN, D.; LI, Y. *Solid State anaerobic co-digestion of Yard waste and food waste production*. Biosource Technology, v.127, Jan 2013.

CARRILHO, Q. N. F. *Valorização de Bio-resíduos Alimentares por Digestão Anaeróbia Descentralizada – Caso de Estudo: Campus da FCT/UML*. Dissertação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa 2012.

DENAGUTTI, R.; PALHACI, P. J. C. M. *Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada*. UNESP. Bauru, SP. 2002.

ECOEFICIENTES. *Home Biogás – Os resíduos orgânicos viram gás de cozinha, c2019*. Projetos & Consultorias. Disponível em: <<http://www.ecoeficientes.com.br/home-biogas/>>. Acesso em: 03 jul. 2019.

EMBRAPA BR. *Sistema rural de bioenergia: microdestilaria, biodigestor, gerador de eletricidade*. Sete Lagoas: Embrapa, 1999.

FUKAYAMA, E. H. *Características Quantitativas e Qualitativas da Cama de Frango sob Diferentes Reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

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*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GONÇALVES, F. L.G. *Biodigestores: uma alternativa para reduzir a contaminação das águas pelo esgoto*. Especialização, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

GÓMEZ, M. F.; SILVEIRA, S. *The institutional dimension of rural electrification in the Brazilian Amazon*. World Renewable Energy Congress, Linköping, Sweden, 2011.

HARTMANN, H.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, BK. *Increase of anaerobic degradation of particulate organic matter in full-scale biogas plants by mechanical maceration*. Water Science Technology, Vol. 41, Fev. 2000. Disponível em <<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/41/3/145/9112>>. Acesso em 06 set 2019.

HOLTZ, A.; PIRES, A. *Geração de energia com resíduos sólidos*. O Estadão de São Paulo, São Paulo, 25 ago. 2011. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,geracao-de-energia-com-residuossolidos-imp-,762772>> Acesso em: 14 jun. 2019.

IBGE. *Mapa integrado dos zoneamentos ecológico-econômicos dos estados da Amazônia Legal*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15844-zee-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

ITAIPU BINACIONAL. *Itaipu prova ser viável a replicação de planta de biogás para todo país, 2017*. Tecnologia. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/itaipu-prova-ser-viavel-replicacao-de-planta-de-biogas-para-todo-o-pais>>. Acesso em: 03 jul. 2019.

BLEY JÚNIOR, C. *Embrapa – Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais*. 2. ed. Foz do Iguaçu: FAO. 2009.

MACHADO, G. *Incentivos legais para a construção de biodigestor no Brasil, maio 2014*. Portal do Biogás. Alemanha. Disponível em: <<https://www.portaldobiogas.com/incentivos-legais-para-construcao-de-biodigestores-brasil/>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

MARTINS, C.R.; PEREIRA, P.A.P.; LOPES, W.A.; ANDRADE, J.B. *Ciclos globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância da química da atmosfera*. N°5 – Novembro, 2003. Química. Disponível em: <http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/downloads/material/quimica_da_atmosfera.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

MATTOS, L. C. M.; FARIAS JÚNIOR, M. *Manual do biodigestor sertanejo – (Cartilha simplificada e adaptada)*. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2011.

NAZARO, S. M. *Desenvolvimento de um biodigestor residencial para processamento de resíduos sólidos orgânicos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

NEFEN. *Segundo Relatório do Projeto Ribeirinhas*. Universidade do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Manaus, 2000.

PINHEIRO, G.; RENDEIRO, G.; PINHO, J.; MACEDO, E. *Sustainable management model for rural electrification: case study based on biomass solid waste considering the Brazilian regulation policy*. Renewable Energy, v. 37, n. 1, 379-386, 2012

ROSA, M. *Aparelho transforma restos de comidas em gás de cozinha*, nov 2017. Ciclo Vivo. Brasil. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/aparelho-transforma-restos-de-comida-de-sua-casa-em-gas-de-cozinha/>>. Acesso em: 06 set 2019.

TURDERA, M. V.; YURA, D. *Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de dourados*. 2006, Campinas. Disponível em:<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000100062&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 07 de ago. 2019.