

Um método para projeto de plantas de biogás

A method for biogas plants design

José de SOUZA [1](#), Maiquel Emerson PFINGSTAG [2](#), Lirio SCHAEFFER [3](#), Elton Gimenez ROSSINI [4](#)

Recibido: 22/03/14 • Aprobado: 27/04/14

Contenido

- [1. Introdução](#)
- [2. Materiais e métodos](#)
- [3. Resultados e conclusão](#)
- [4. Referências](#)

RESUMO:

A construção de plantas para geração de biogás depende de planejamento e projeto para cada caso. O dimensionamento e projeto são imprescindíveis para garantir o bom funcionamento da planta. O modelo metodológico proposto neste trabalho deverá facilitar a escolha do tipo de biodigestão, dimensionamento de biorreatores, número de fases e estágios, carregamento, tratamento, armazenamento e utilização do biogás. Este trabalho tem por objetivo investigar e aplicar conhecimento de pesquisas internacionais na criação de um modelo para o projeto e construção de plantas de biogás. A aplicação do modelo proposto foi efetuada no projeto de uma planta de biogás para o tratamento de biomassa composta por silagem de milho. O emprego do modelo gerado proporcionou resultados específicos para o estudo de caso.

Palavras chave: Plantas de biogás; Geração de biogás; Energias Renováveis.

ABSTRACT:

The construction of plants for generation of biogas depends on planning and design for each case. A good project is essential to ensure a good operation of the plant. The methodological framework proposed in this paper should facilitate the choice of digestion, design of bioreactors, stages, loading, handling, storage and the use of biogas. This paper aims to investigate and apply knowledge of research in creating a model for the design of biogas plants. The application of the proposed model proposes a design of a biogas plant for the treatment of biomass composed of corn silage. The use of the generated model provides results of the case study.

Keywords: Biogas plants, Biogas generation, Renewable Energy.

1. Introdução

O uso das energias renováveis e locais é uma solução sugerida para compor um ciclo sustentável. O biogás é uma dessas energias renováveis, que produz energia e fertilizantes agrícolas, aumentando a saúde pública da sociedade e é uma boa solução para eliminação de resíduos produzidos nestes lugares (PORKAREH *et al.*, 2011). A América Latina tem demandando tecnologia de biogás no tratamento de esgoto municipal bruto. Tanques biorreatores têm sido instalados para o tratamento destes resíduos. A quantidade de biogás produzido na América Latina é estimada em 217 milhões de m³ por ano. A tecnologia para geração de biogás requer não apenas esforços tecnológicos, mas também incitações pelos governos nacionais e organizações não governamentais (ONG) a fim de promover condições favoráveis para a exploração dessa energia renovável (NI *et al.*, 2011).

Plantas de biogás estão sendo empregadas em muitas comunidades rurais no mundo com o objetivo de aproveitar fontes energéticas alternativas e diminuir a poluição animal e aquela oriunda da exploração agrícola. A Alemanha conta em torno de 5000 plantas de geração de biogás, contribuindo na geração de 6% da energia elétrica utilizada neste país (DREGER, 2011).

A construção de plantas de biodigestão depende de uma série de aspectos como fatores climáticos, manutenção, recursos tecnológicos disponíveis, diversidade da biomassa, materiais utilizados, entre outros. O projeto e o dimensionamento da produção do biogás e do seu tratamento é um processo

dinâmico e adaptativo à situação (COELHO *et al.*, 2014). O sucesso de projetos de geração de biogás está diretamente ligado ao projeto e dimensionamento de plantas para biodigestão (SOUZA; SCHAEFFER, 2013). A dificuldade de reproduzir todos os aspectos reais e aplicados ao sistema diminui drasticamente as chances de sucesso na produção. O mau dimensionamento dos biorreatores, recirculação e controle de temperatura pode interromper o fluxo de produção de biogás devido à sensibilidade microbiológica do processo. O controle de carregamento, da mistura, da descarga e a divisão do processo de quebra do composto orgânico auxilia no desenvolvimento da gaseificação do substrato, a biomassa. Uma das razões que levaram plantas de biogás apresentar ineficiência é o inadequado dimensionamento das mesmas (CUNÍ, 2011).

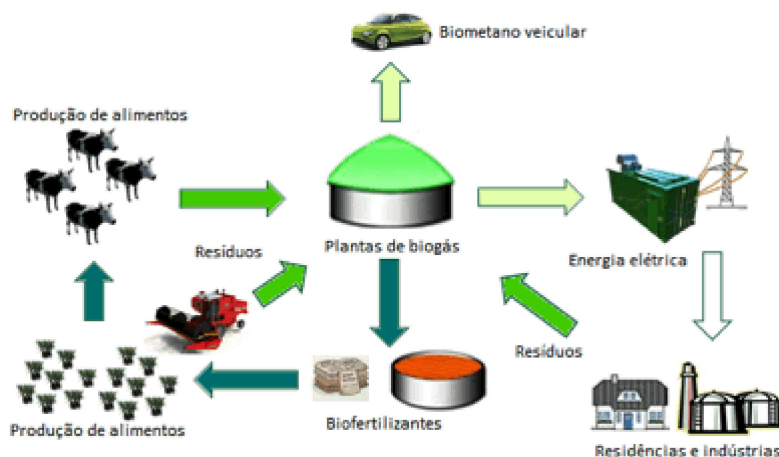
A produção de biogás varia com o tipo de biorreator, substrato, controle da temperatura, separação das fases, tipos de biodigestão, entre outros aspectos (SOUZA; SCHAEFFER, 2010). Com o projeto de biorreatores adequados obtêm-se uma maior quantidade e qualidade no biogás, em comparação com tanques digestores convencionais (NAZIR, 1991).

1.1 A geração de biogás

O metano pode ser produzido em áreas rurais com vasta produção de biomassa bem como em áreas urbanas com grande quantidade de biomassa produzida através da parcela orgânica dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos). Todo material orgânico representa uma fonte em potencial e importante de combustível porque mesmo sendo resíduo poluidor pode ser transformado em energia limpa e renovável (BONFANTE, 2010).

Projetos de plantas de biodigestão podem ser implantados nas mais diversas regiões, de forma descentralizada (SOUZA, 2010). Isso incentiva a produção energética local nas regiões de maior produção de biomassa e possibilita o uso destes recursos energéticos. Além da descentralização, nestes casos, o combustível está isento de custos com transporte, cumprindo uma prerrogativa básica da eficiência energética, a geração com o menor custo possível. Na figura 1 pode ser visto um esquema de integração de uma planta de biogás com meios produtivos e de consumo.

Figura 1 – Esquema de integração de uma planta de biogás com meios produtivos e de consumo.



O biogás e as tecnologias relacionadas não só podem fornecer um combustível limpo, mas também são importantes para a ampla utilização de recursos de biomassa e para o desenvolvimento da agricultura, da silvicultura e da pecuária. Evoluindo a economia agrícola, protegendo o meio ambiente ecológico, realizando a reciclagem agrícola, bem como melhorando as condições sanitárias, em áreas rurais (TARBAGHIA, 1993).

1.2 Tecnologia para produção de biogás

A geração de biogás pode ser realizada por meio de diferentes tecnologias. As técnicas empregadas dependem de critérios que são estabelecidos pelo tipo de biodigestão a ser empregada. A tabela 1 apresenta uma classificação de algumas formas de geração de biogás empregadas na Alemanha.

Tabela 1 – Classificação das técnicas de geração de biogás conforme diferentes critérios

Critério	Tipo
Teor de matéria seca dos substratos	• biodigestão úmida; • biodigestão seca;
Tipo de alimentação	• descontínua; • semicontínua; • contínua;
Nº de fases do processo	• uma fase; • duas fases;
Temperatura do processo	• psicrófilico; • mesofílico; • termofílico.

Fonte: (Adaptado de HANDREICHUNG BIOGASGEWINNUNG UND NUTZUNG, 2004).

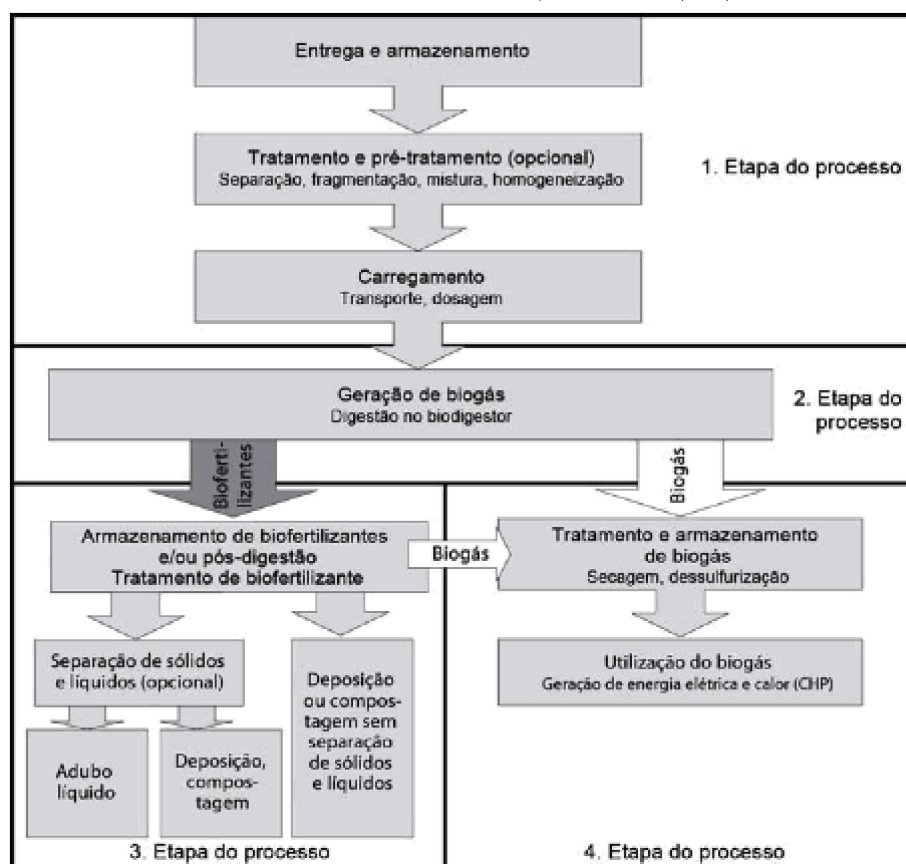
1.3 Etapas do processo de biodigestão

Conforme Jäkel (2002) o sistema de funcionamento de uma planta de biogás pode ser dividida em quatro etapas de processamento:

1. Gestão dos resíduos ou substrato (Recebimento, armazenamento, tratamento, transporte e carregamento);
2. Geração de biogás em biorreatores (TRH, Mistura, Controle de temperatura, Monitoramento e aceleração microbiana);
3. Preparação, armazenagem e deposição de biofertilizantes;
4. Armazenamento, purificação e utilização do biogás.

As etapas do processo descritas por Jäkel (2002) são ilustradas na figura 2.

Figura 2 – Etapas do processo de biodigestão.



1.4 Projeto de plantas de biogás – biometano

O projeto de construção e operacionalização de plantas de biogás é composto por várias etapas e fases. Começando por um estudo de viabilidade técnica, passando pelo planejamento da planta e finalizando com a sua operação. Durante a realização do projeto seu idealizador deve planejamento de todas as fases da implementação, dependendo do seu envolvimento e dos recursos humanos e financeiros disponíveis.

Após o projeto da planta ter sido decidido inicia-se com o planejamento através de esboço ou rascunho de referência para o empreendimento. O esboço do projeto serve como base para verificar sua viabilidade técnica, avaliar a possibilidade inicial de financiamento e financiamento.

É importante a análise do sistema completo desde a disponibilidade do substrato, passando pela planta de geração de biogás propriamente dita, até a distribuição de energia. É importante, para isso, que as três áreas mostradas na figura 3 sejam consideradas com o mesmo grau de detalhamento desde o início do projeto (GÖRISCH; HELM, 2006).

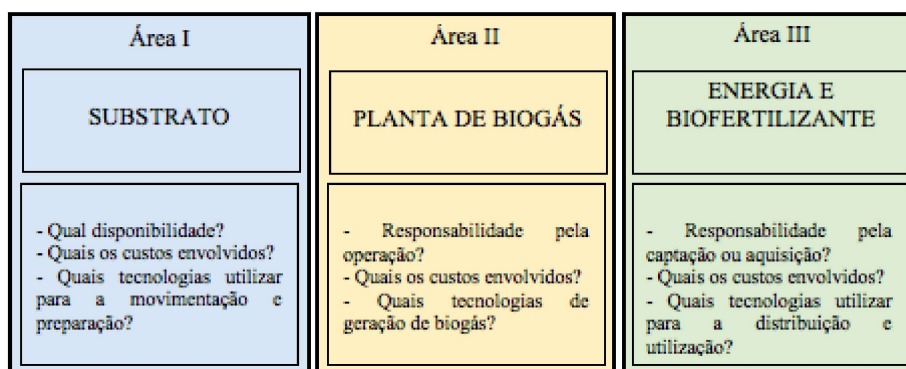


Figura 3 – Diagrama do planejamento de uma planta de biogás.

O planejamento da planta de biogás deve ocorrer de forma a reduzir dificuldades e problemas na construção e operação. A tabela 2 traz alguns aspectos a serem observados (FNR, 2009).

Tabela 2 – questões básicas para o planejamento do projeto de plantas de biogás.

Verificar a disponibilidade de matéria prima a longo prazo	- Quais substratos estarão disponíveis a longo prazo? - Há possibilidades de incrementos a médio/longo prazo? - Que impacto isso terá sobre planta (do ponto de vista da biologia/substrato, processos, energético)?
Análise de fornecedores	Quais opções construtivas, materiais, equipamentos são oferecidos no mercado?
Verificar a possibilidade de aproveitamento de calor	- É possível utilizar o calor na propriedade, empresa ou vender? - Que quantidades de calor podem ser fornecidas mensalmente?
Determinação do orçamento disponível	- Quais são os recursos disponíveis? É necessária captação externa? - Qual é a estimativa de retorno da planta?

Para a construção e operação de uma planta de biogás é fundamental o planejamento da disponibilidade do substrato. O tipo e disponibilidade da matéria-prima determina o tipo de equipamento adotado na planta. De acordo com a disponibilidade a seleção da tecnologia em um projeto de biogás é baseada principalmente nos substratos disponíveis, infraestrutura existente e a viabilidade do financiamento. Na tabela 3 é apresentada uma listagem para a seleção da tecnologia para geração de biogás.

Tabela 3 – Seleção da tecnologia para geração de biogás.

Seleção do processo de biodigestão	A planta deverá operar com biodigestão úmida, a seco ou uma combinação de ambas? Com que estágios de processo e em quais temperaturas deverá operar a planta?
Seleção dos componentes da planta	Quais componentes deverão ser utilizados? - Equipamentos de recepção, preparo e carregamento; - Arquitetura do biodigestor com componentes instalados e equipamentos de agitação; - Tipo de gasômetro; - Tipo de armazenamento da biomassa fermentada; - Utilização do biogás.

2. Materiais e métodos

2.1 Construção do método para projeto e dimensionamento de plantas

Para este trabalho foi desenvolvido uma sequência para o projeto da planta de biogás, conforme embasamento na literatura internacional abordada na revisão. Para isto foram observadas informações, dicas, dados experimentados, experiências de plantas construídas na Alemanha e aspectos relevantes já descritos. Na figura 4 foram estabelecidos os passos para do projeto e dimensionamento de plantas de biogás.

Figura 4 – Etapas para projeto e dimensionamento de plantas de biogás.



- Tópico 1 – Levantamento de dados

O levantamento de dados é o primeiro passo e constituirá a base para o projeto com todas as informações necessárias para o planejamento da planta. Nesse passo deverá ser feito o reconhecimento da região e do possível local de instalação se já foi definida. Nesse momento deverão ser verificadas as vias e estradas de acesso, suas condições, pedágios, características, tipo de trânsito, etc. Averiguação da oferta e abastecimento de substrato e possibilidades de diversificação da matéria-prima, substituição emergencial. Nesta etapa também será verificado o clima, suas variações nos últimos anos através de relatórios das estações de climatologia, verificação da variação da temperatura, ventos e incidências de chuvas, além de temporais e outros eventos climáticos característicos da região.

- Tópico 2 – Planejamento

No planejamento, a partir de todos os dados levantados no item anterior se constrói o primeiro esboço do projeto. Este passo permitirá obter noções de custo importantes para busca de financiamento e a viabilidade da planta.

Um aspecto que deverá ser visto é o tipo, volume e qualidade do substrato ou matéria prima. Verificar a disponibilidade, como será a entrega, frequência, quantidade, o transporte e quais garantias de qualidade, entre outros. Verificação de custos, como se dará a compra do substrato, pagamento, permuta ou ainda recebimento pelo tratamento, usual em contratos com prefeituras para utilização de RSU. Para escoamento do biofertilizante é necessário considerar sua comercialização, demanda, estabelecer se será comercializado seco ou líquido. Necessidade de atingir padrões de composição ou degradabilidade ou observância de normas. Para a planta de biogás deve ser feito planejamento e verificação das restrições de espaço, operação e definição de recursos humanos responsáveis pelo projeto e simulação. Depois disto poderá ser escolhido, a partir dos dados coletados, o tipo da biodigestão a ser utilizado, formato dos biorreatores, número de fases e estágios, carregamento de substrato, fragmentação, mistura, entre outros. Será possível verificar a necessidade de purificação do biogás, tipo, qualidade, emprego do mesmo, armazenamento e outras situações do processo.

- Tópico 3 – Dimensionamento

No dimensionamento, a partir de todos os dados levantados poderá ser definido o volume, disposição e posicionamento dos elementos de carregamento, geração, tratamento e utilização de biogás e biofertilizante da planta. Nesta etapa são definidas todas as informações para a modelagem dos biorreatores e demais equipamentos. Nesta etapa também é estabelecido o modelo do processo de biodigestão, fluxo, movimentação, TRH, modo de armazenamento, quantidade de fornecimento de energia e biofertilizante.

- Tópico 4 – Escolha de tecnologias e materiais

No quarto passo, a partir dos dados levantados anteriormente será possível avaliar quais serão as tecnologias necessárias e disponíveis para o projeto. Portanto, para os três níveis, gerenciamento de

substrato, biodigestão e geração de biogás e por último a utilização da energia e o biofertilizante.

Será necessário escolher os materiais a serem empregados nos biorreatores, tubulações, gasômetros, tanques e outros recipientes ligados ao processo considerando-se a sua disponibilidade no mercado.

- Tópico 5 – Modelagem

Nesta etapa são modelados todos os equipamentos, principalmente os biorreatores, em softwares mecânicos de CAD 3D. A partir de todos os dados definidos na etapa anterior, o dimensionamento, pode se construir a planta virtual para firmar modelos, tecnologias e o processo de biodigestão dimensionado.

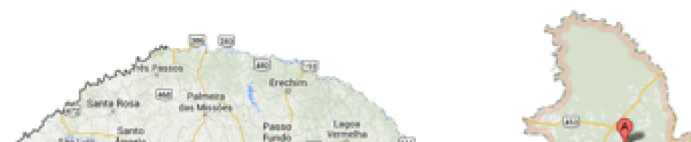
A modelagem servirá para viabilizar a fabricação dos elementos citados e o planejamento de construção.

2.2 Aplicação metodológica

2.2.1 Levantamento de dados

A planta dimensionada foi definida pra um modelo comercial e se aplica na maioria das regiões agrícolas produtoras de cereais e vegetais. A planta se utilizará de silagem de milho para geração de biogás. A região e município para implantação da planta pode ser visto na figura 5.

Figura 5 – Localização do município de São Francisco de Paula-RS.



O acesso ao município se dá a partir da região metropolitana a partir da RS20 e o local da planta está situado a 115 km da capital Porto Alegre/RS.

A região é produtora de alimentos sendo essencialmente agrária com diversificação de lavouras e criação de animais. A possibilidade obtenção de diversos outros tipos de biomassa para biodigestão é imensa.

A região está localizada na serra gaúcha e apresenta temperaturas mínimas de -5 °C no inverno. Isso representa uma atenção especial com o aquecimento dos biorreatores nesta estação. A região ainda pode apresentar breves ocorrências de neve em pequenas quantidades durante o inverno.

2.2.2 Planejamento

O substrato é composto de 100% de silagem de milho picada em picadores integrados em colheitadeiras na lavoura. Na figura 6 pode ser observado aspecto do substrato que deverá ser considerado para o dimensionamento da planta de biogás.

Figura 6 – Substrato originário de lavouras de milho transformado em silagem.



Para a biodigestão úmida, o substrato deve apresentar um teor de matéria seca de até 36% (em massa) conforme visto na literatura. Para o substrato analisado obteve-se em torno de 30% o que satisfaz a orientação observada. Na tabela 4 temos a análise do substrato.

Tabela 4 – Dados do substrato analisado.

Substrato	Silagem a verde	Silagem compactada
Kg MS/m ³	727,9	591,7
MS %	30,62	28,9
MO (%MS)	98,0	95,2
pH	5,7	3,89

As informações básicas para o dimensionamento da planta estão relacionadas na tabela 5.

Tabela 5 – Dados para a planta para o dimensionamento da planta de biogás.

Tipo do Substrato	Silagem de milho
Teor da matéria seca	30% de matéria seca
Densidade matéria orgânica	1 gm/cm ³
Massa de substrato disponível	35.000 toneladas de silagem por ano

A estratégia para recebimento do substrato se dará em dois momentos conforme regras contratuais estabelecidas. A safra principal se dará até no primeiro dia útil de setembro quando serão recebidos 20.000 toneladas de substrato. O segundo recebimento de 15.000 toneladas deve ser efetuado até primeiro dia útil do mês de março. A seguir a tabela 6 apresenta o planejamento do substrato.

Tabela 6 – Recebimento do substrato.

Recebimentos		
Setembro	20 Mil toneladas	Silagem de milho
Março	15 Mil toneladas	Silagem de milho

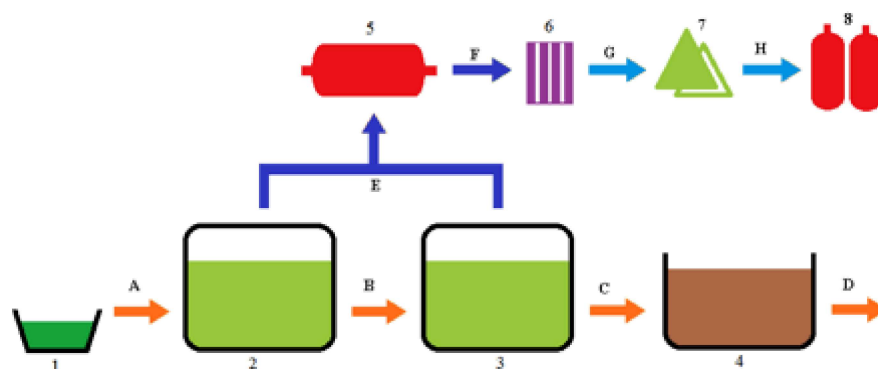
Foi estabelecido a execução de testes laboratoriais no recebimento do substrato de MOS em amostras para determinação dos índices de matéria seca e composição para garantia de confiabilidade do sistema. A comercialização do biofertilizante pode ser efetuado na própria região devido à alta variedade de produção e propriedades existentes. Fato que pode pesar favoravelmente a demanda de biofertilizante líquido que poderá ser utilizado nas lavouras de produção de silagem.

2.2.3 Dimensionamento

O dimensionamento da planta a partir dos dados levantados foi definido em modelo contínuo bifásico devido ao sistema de digestão compor-se de biomassa úmida. O fluxo do funcionamento

está construído na figura 7.

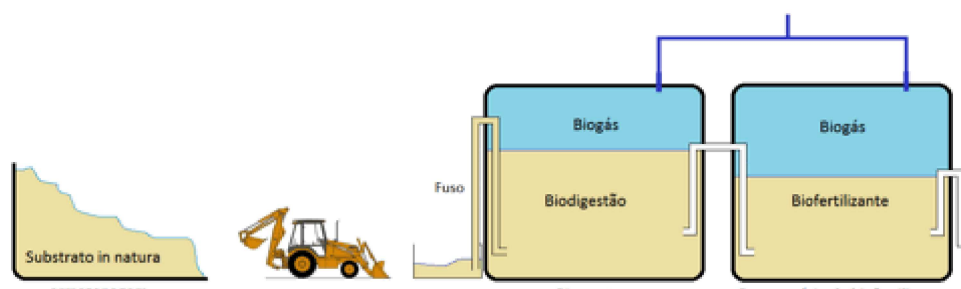
Figura 7 – Fluxo de funcionamento da planta de biogás.



1 – Sistema de carregamento do substrato; 2 – Biorreator; 3 – Tanque de armazenamento de biofertilizante com captação de biogás – 4 Tanque de cura do biofertilizante; 5 - gasômetro de biogás; 6 – Filtros de biogás; 7 – Compressor de biometano; 8 – Cilindros de biometano; A – Substrato in natura; B – Substrato digerido; C – Biofertilizante; D – Biofertilizante maturado; E, F – Biogás; G – Biometano; H – Biometano comprimido.

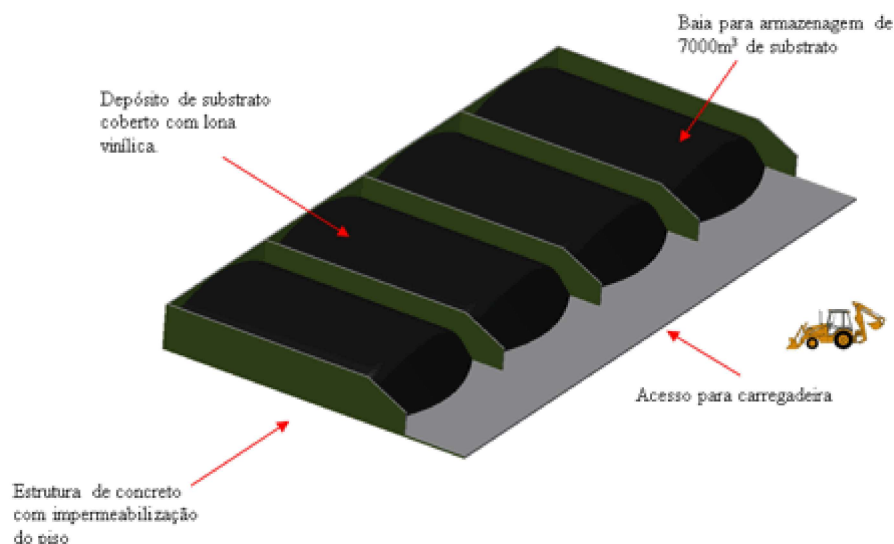
O tipo de alimentação a ser adotado conforme dados do substrato é o modelo contínuo. O carregamento do substrato do espaço de armazenagem do substrato para os picadores através de carregadeira. Na figura 8 pode ser visto o esquema de carregamento do substrato.

Figura 8 – Posicionamento do carregamento do substrato.



Para viabilizar a utilização do gasômetro integrado ao reservatório do biofertilizante optou-se pela utilização do sistema é denominado bifásico com dois estágios. A configuração ideal então é a composta de biorreator e reservatório de pós-digestão conforme figura 8. O biorreator e o reservatório de biofertilizante pertencem à fase de metanização. Para o armazenamento do substrato é necessário espaço subdividido, com piso impermeabilizado, cobertura de lona plástica e contenção. O espaço para armazenamento foi dimensionado para um volume de 50.000 m³ de substrato (volume da silagem a ser recebido) conforme figura 9.

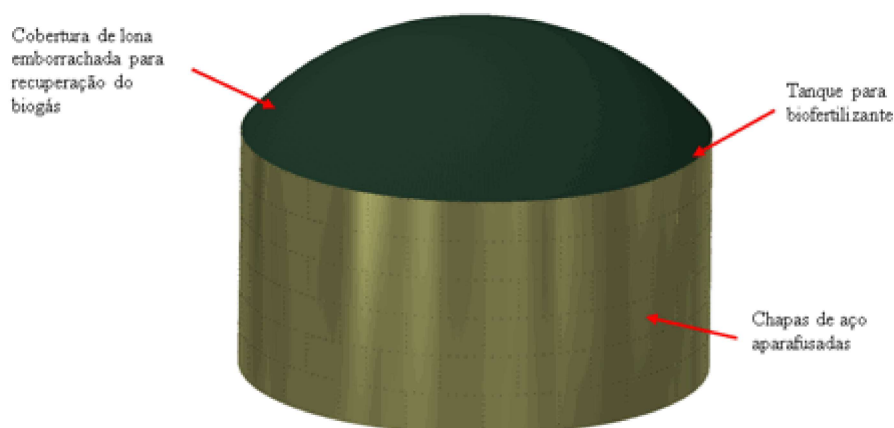
Figura 9 – Posicionamento do carregamento do substrato.



Para dimensionamento dos biorreatores foi considerado um TRH (Tempo de retenção hidráulica) de 21 dias, baseado na literatura internacional e com isso calcularam-se as dimensões dos biorreatores da planta. Considerou-se uma carga diária de 95,8904 m³ para o volume total de 35 mil toneladas de silagem de milho conforme tabela 6 de substrato disponível anualmente. Verificou-se que para o substrato será necessário um espaço em torno de 1917 m³, é importante destacar que os biorreatores devem apresentar um espaço superior em cada um dos tanques para viabilizar espaço para concentração e captação do biogás. Este espaço foi dimensionado em torno de 10% do volume do substrato do biorreator, no total o biorreator ficou com aproximadamente 2100 m³.

Para o armazenamento do biofertilizante, com base no modelo adotado de dois estágios. Para o armazenamento é necessário espaço com piso impermeabilizado com cobertura de lona plástica o que impedirá a infiltração de água da chuva. Na figura 10 pode ser visto o modelo de biorreator e tanque para armazenamento do biofertilizante.

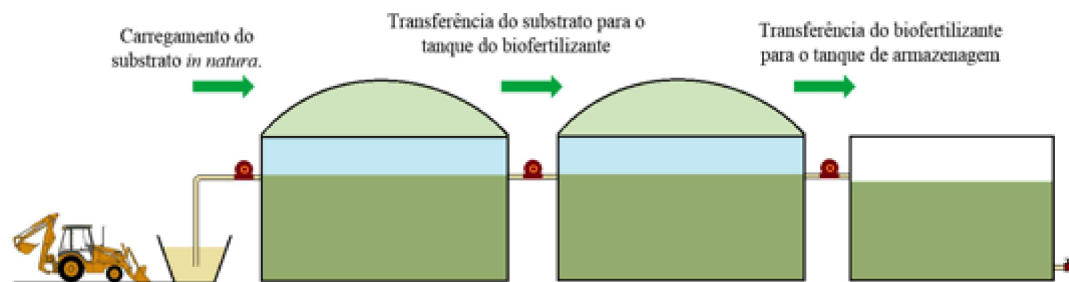
Figura 10 – Posicionamento do carregamento do substrato.



2.2.4 Escolha de materiais tecnologias

Para o substrato disponível a tecnologia mais adequada conforme literatura internacional deve-se adotar o modelo de biodigestão úmida, já que a silagem é composta de 30% de matéria seca. Isto determina que a adoção dos biorreatores cilíndricos com carregamento tipo contínuo. Não é necessária a utilização de picadores e separadores uma vez que a silagem é recebida triturada e livre de detritos, materiais plásticos e outros materiais não orgânicos. O sistema é um processo contínuo, onde o substrato é carregado no biorreator inicial, passa para um segundo tanque de biofertilizante e é descartado em um tanque aberto. O sentido de fluxo da planta pode ser visto na figura 11.

Figura 11 – Sentido de fluxo da planta de biogás.

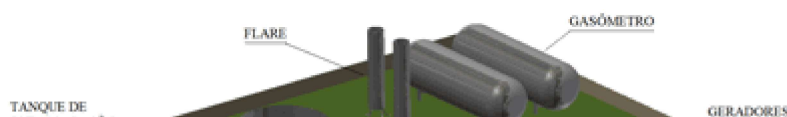


Foram escolhidos os materiais para a construção dos biorreatores e tanques reservatórios para os biofertilizantes em aço inoxidável 316L devido a este material ser acessível e representar boa durabilidade em ambientes danosos.

2.2.5 Modelagem

Nesta etapa foram modelados os biorreatores, a partir de todos os dados definidos na etapa anterior, o dimensionamento. A modelagem dos biorreatores visa facilitar a fabricação e a montagem do principal recipiente, que mantém o substrato a ser digerido em plantas de biogás. Os tanques demandam atenção especial devido ao alto investimento que representam. O rascunho do projeto em 3D pode ser vista na figura 12.

Figura 12 – Planta de biodigestão em 3D.



3. Resultados e conclusão

O levantamento de dados é a fase inicial do sistema proposto e serviu como base para as outras etapas do modelo. Nesta etapa foi definido o substrato o que foi fundamental para o dimensionamento da planta de biogás. O fato corrobora com a revisão que relata que o tipo de substrato é definitivo para a escolha do modelo de planta.

Os dados levantados sobre o local de instalação influenciaram na decisão sobre a tecnologia para o carregamento e o tipo de processo de biodigestão, baseado no teor de matéria seca, conforme a orientação observada. Uma mudança desses parâmetros mudaria completamente o formato do modelo de planta.

A determinação do formato dos biorreatores foi determinada a partir do tipo de biodigestão. Outro aspecto a ser abordado é a desnecessidade de fragmentação do substrato já que é feita por picadores integrados a colheitadeiras sendo que já é recebido triturado na planta. Contudo o fato de que a região poderá fornecer outros tipos de substrato avanta para a necessidade de fragmentação caso ocorra esta possibilidade. Não entanto isso não é confirmado no projeto, apenas uma opção e a integração do sistema fragmentador uma solução futura.

A estratégia para recebimento do substrato serviu para planejar a gestão de recebimento, não sendo tão importante no dimensionamento, mas sim para o espaço de armazenamento.

Para a segunda etapa no dimensionamento, a primeira fase o levantamento de dados foi fundamental. A definição do modelo de biodigestão forneceu condições para definir o fluxo do

funcionamento, como já foi visto na figura 11. O fluxo por sua vez possibilita a definição dos materiais, tecnologias, dispositivos e o projeto da automação da planta.

A integração do gasômetro no biorreator cilíndrico é uma forma de capturar o biogás no reservatório de biofertilizante, mas não uma exigência. Portanto essa foi uma opção dos projetistas que utilizaram o sistema bifásico com dois estágios.

O estabelecimento do TRH em 42,8 dias gerará um biofertilizante com características específicas. Como não se encontrou legislação para o biofertilizante no Brasil não foi adotado um TRH maior, já que o mesmo não necessita de certificação. O tipo de tecnologia para o controle foi optado pela nacional local, já que existem empresas fornecedoras na região metropolitana e a região é consideravelmente próxima, em torno de 120 km.

A utilização da metodologia criada auxilia na possível redução de custos e viabilização das plantas de biogás. O emprego de um modelo para o projeto de plantas de biogás auxilia no melhor aproveitamento da biomassa e maximiza a geração de biogás.

4. Referências

- BONFANTE, T. M. **Análise da viabilidade econômica de projetos que visam à instalação de biodigestores para o tratamento de resíduos da suinocultura sob as óticas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e da geração de energia.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade – USP – Ribeirão Preto – SP, Brasil, 2010.
- COELHO, M. A, A; SOUZA, J.; SCHAEFFER, L; ROSSINI, E. G. **Study on the economic viability of hi-tech biogas plants.** Revista Espacios. Vol. 35 nº(3) 2014. Pág. 02. Disponível em <http://www.revistaespacios.com/> Caracas – Venezuela, 03/2014.
- CUNÍ, B. C. **Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino.** Universidad Agraria de La Habana – Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 20, Nº. 2, 2011.
- DREGER, I. **Experiências com estudos e projetos para usinas de biogás no Brasil (2006-2010) com tecnologia alemã.** German/Brazil Workshop on Biogas – Florianópolis/SC – 2010.
- FNR (Hrsg.): **Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen**, 2009.
- GÖRISCH, U; HELM M. **Biogasanlagen**; Ulmer Verlag, 2006.
- HANDREICHUNG BIOGASGEWINNUNG UND NUTZUNG Institut für Energetik und Umwelt gGmbH Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. Leipzig, 2004.
- JÄKEL, K.: Managementunterlage "Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und –verwertung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002.
- NI, J. Q; NAVEAU, H; NYNS, E. J. **Biogas: exploitation of a renewable energy in Latin America.** Renewable Energy, Vol.3 (6), pp.763-779 – 1993.
- NAZIR, M. **Biogas plants construction technology for rural area.** Bioresource technology. Vol. 35, nº3, pp. 283-28 Lahore 54600, PAKISTAN – 1991.
- PORKAREH, M. H; MAHDELOIE, S; SAMAN, P. G; KOORGOL, R; SHAKOURI, M. J. **Analyzing Environmental Systems of Biogas System.** Annals of Biological Research, 2011, 2 (5):707-709 CODEN (USA): ABRNBW – 2011.
- SOUZA, J. D. **Desenvolvimento de tecnologias para compressão de biogás. Dissertação de Mestrado.** PPGE3M – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS, Brasil,

2010.

SOUZA, J. D; SCHAEFFER, L. ***Sistema de compresión de biogas y biometano.*** Revista Información tecnológica. Vol.24 n°.6. Disponível em http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600002&lng=es&nrm=iso&tlng=es La Serena – Chile, 2013.

_____. **Estudo para fabricação de cilindros especiais para biometano.** Revista Liberato (Novo Hamburgo-RS), p.33-38, v. 11, n15, jan./jun. 2010.

TARBAGHIA, T. ***Design of biogas plant to product energy with special application to Benghazi, Libya.*** Renewable energy [0960-1481] Vol: 3 fasc: 2 pág: 207 -209. 1993.

1 Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil josesouza@liberato.com.br

2 Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil maiquelx@hotmail.com

3 Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil schaeffer@ufrgs.br

4 Engenharia em Energia - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – RS – Brasil eee2007r@gmail.com

Vol. 35 (Nº6) Año 2014

[\[Índice\]](#)

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]