



XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO E CONTROLE DE TEMPERATURA EM REATORES ANAERÓBIOS

Karl Benchimol Xavier do Nascimento, Douglas Ritter, Uilian da Silva Piuco, Antonio Carlos Valdiero, Luis Antonio Bortolaia

UNIJUI, Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Curso de Engenharia Mecânica
Campus Panambi - Bairro Arco-Iris - CEP 98280-000 – Panambi – Rio Grande do Sul
E-mail para correspondência: karl_benchimol@yahoo.com.br

Introdução

Relativamente ao grande volume de resíduos provenientes das explorações agrícolas e pecuárias, estes apresentam uma carga poluente de tal forma elevada que impõe a criação de soluções que permitam diminuir os danos provocados por essa poluição, gastando o mínimo de energia possível em todo o processo.

O tratamento desses efluentes pode processar-se por intermédio da fermentação anaeróbia (biodigestão) que, além da capacidade de despoluir, permite valorizar um produto energético (biogás) e ainda obter um fertilizante, cuja disponibilidade contribui para uma rápida amortização dos custos da tecnologia instalada.

A digestão anaeróbia (biodigestão) é uma solução para o tratamento de dejetos orgânicos extremamente utilizada no mundo. As teorias sobre a biodinâmica do processo concordam que existem quatro subprocessos na digestão anaeróbia: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese. No entanto, as teorias apresentam soluções desenvolvidas para seus países de pesquisa e aplicação, ficando a importação desses modelos, como no caso brasileiro, prejudicado pela carência de concepções nacionais adequadas as relações produtivas aqui presentes. Em 1986, a situação do Brasil segundo dados da EMATER, era de 7520 digestores instalados no meio rural, número que conferiu ao país o terceiro lugar no mundo, tanto em número de unidades como em recursos financeiros aplicados em pesquisa e difusão de tecnologia, sendo ultrapassado pela China e a Índia. No entanto, grande parte desses digestores foram desativados. Dentre os motivos mais citados para explicar a limitação e o descrédito na adoção desta tecnologia, incluem a interrupção do crédito rural específico em 1985 e a falta de seriedade de algumas empresas fabricantes de equipamentos que projetaram produções de biogás acima das realizáveis.

Objetivo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de aquecimento e controle de temperatura em reatores anaeróbios para o desenvolvimento de bactérias atuantes na zona mesofílica (30 a 35°C) ou na zona termofílica (55 a 65°C). O objetivo é desenvolver um sistema que mantenha a produção de biogás uniformemente, independentemente da estação climática ou temperatura diária. O sistema funciona utilizando uma fração do biogás produzido para geração de energia térmica por meio da utilização de um queimador a gás, trocador de calor e serpentinas de condução do calor ao reator. Para gerenciamento dos processos está sendo desenvolvida uma rotina de trabalho que utiliza um micro controlador para acionamento dos equipamentos por meio do processamento dos sinais coletados pelos sensores de temperatura implantados no reator. Esta pesquisa busca o desenvolvimento de um equipamento que possa ser utilizado tanto em sistemas rurais para efetiva redução da carga orgânica quanto em equipamentos associados a sistemas de geração de energia elétrica ou produção de metano para aproveitamento dos subprodutos da digestão anaeróbia.

Fundamentação Teórica

O biodigestor consiste, basicamente, em uma câmara fechada onde a biomassa (o volume de efluente de suínos ou de bovinos produzido) é fermentada anaerobicamente, isto é, sem a presença do ar atmosférico, produzindo biogás e biofertilizante. Ressalte-se que o biodigestor é um aparelho destinado a conter a biomassa e o produto desta, o biogás. Por si só, o biodigestor não produz o biogás, mas cria condições para que as bactérias metanogênicas que degradam a matéria orgânica, produzindo o gás metano, atuem sobre os materiais orgânicos na produção deste combustível.

As etapas da digestão anaeróbia realizadas em biodigestores são basicamente a Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e a Metanogênese.

A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbia, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de bactérias. Essencialmente distinguem-se duas fases nos processos de fermentação metanogênica. A primeira fase é uma transformação das moléculas orgânicas em ácidos gordos, sais ou gás. A segunda é a transformação destes numa mistura gasosa essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono.

Tabela 1 – Composição do Biogás

GÁS	COMPOSIÇÃO (%)
Metano (CH ₄)	60-70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	30-40
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0,5
Outros Gases	0,1

Fonte: MORAES & PAULA (2004)

A temperatura é um fator que afeta os processos biológicos de diferentes maneiras, incluindo alterações na velocidade do metabolismo das bactérias, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos, principalmente os lipídeos (AHRING et. Al., 2000).

Ela influencia na seleção das espécies microbianas, por interferir no crescimento bacteriano, sendo que o grau de dissociação de diversos compostos depende fortemente da temperatura.

Também se tem que acima da temperatura ótima, ocorre uma queda brusca da taxa de crescimento, na qual o decaimento começa a prevalecer sobre a síntese.

A fração de sólidos orgânicos que é metabolizado na digestão anaeróbia diminui marcadamente com a temperatura inadequada, alta ou baixa.

A atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10°C e nula acima dos 65°C. A faixa dos 20°C a 45°C, corresponde à fase mesófila, enquanto que entre os 50°C e os 65°C, temos a fase termófila (AHRING et. Al., 2000). A opção por uma temperatura de trabalho terá de resultar do compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de fermentação e o tempo de retenção. Na fase mesófila, as variações de temperatura são aceitáveis desde que não sejam bruscas. O mesmo não acontece com a fase termófila, onde as variações não são aconselháveis. Todavia, ela permite cargas mais elevadas e um tempo de retenção menor, com maiores taxas de produção de gás (MOONIL et. al., 2002).

A temperatura ideal para a digestão anaeróbia, situada na faixa mesofílica, é de aproximadamente 35° C. Caso haja interesse em que esta temperatura seja mantida no interior do digestor, é necessária, na maioria dos casos, a utilização de sistema de isolamento térmico e aquecimento. A importância do emprego destes sistemas baseia-se no fato que, a temperaturas mais elevadas, a velocidade de reação é maior, sendo requerido um volume menor do digestor, o que afeta diretamente o custo das instalações (MOONIL et. al., 2002).

O tempo de retenção varia em função do tipo de biomassa, granulometria da biomassa, temperatura do digestor, pH da biomassa, etc., mas, de modo geral, situa-se na faixa de 4 a 60 dias. Normalmente, o tempo de digestão para esterco de animais domésticos situa-se na faixa de 20 a 30 dias (MORAES & PAULA, 2004).

Metodologia

Foi realizado um levantamento dos modelos de digestores anaeróbios desenvolvidos e aplicados no Brasil, e, assim, constatou-se que o modelo de digestão predominante é o descrito na Figura 1. Esses processos utilizados têm como deficiência a incapacidade de efetuar uma redução da carga orgânica dos efluentes a taxas próximas a 95% - o que adequaria aos padrões de lançamento de dejetos no meio rural. O principal fator analisado é baixa eficiência de remoção da carga orgânica em virtude do baixo metabolismo das bactérias aliado a mudanças bruscas de temperatura nos reatores – visto que a grande maioria dos digestores anaeróbios instalados no Brasil se encontram na região sul e sudeste, onde, durante pelo menos seis meses ao ano, ocorrem grande variação de temperatura.

Como comparativo de eficiência, é comumente exposto pela bibliografia que a utilização de apenas um reator para a realização de todo o processo leva a predominância da fase bioquímica da acidogênese na base dos reatores, diminuindo a geração de metano, além de aumentar a produção de elementos corrosivos, como o H₂S (MOONIL et. al., 2002).

Na busca da otimização sobre os sistemas atualmente empregados, está sendo desenvolvida uma hipótese construtiva com base nos modelos empregados na Alemanha e Estados Unidos onde são utilizados

reatores de duas fases com alimentação contínua e tanque movimentado (Two Phase Continuously Stirred Tank Reactor). Para isso, é necessária a construção de um reator para os processos de hidrólise e acidogênese e outro para os processos de acetogênese e metanogênese. A segmentação, divisão das etapas da biodigestão, em reatores independentes com funções distintas mostra-se importantíssima para melhor controle dos processos.

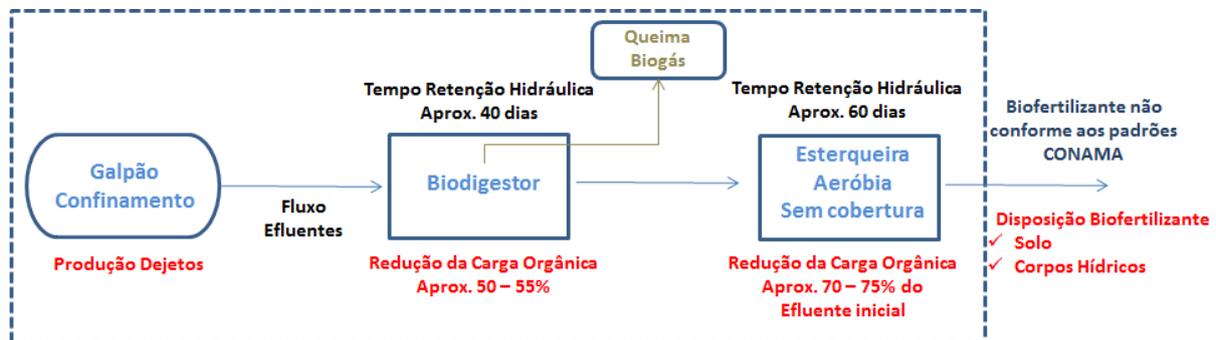


Figura 1 – Modelo de digestão anaeróbia implantado no Brasil

Resultados

Após análise das deficiências apresentadas nos modelos nacionais e comparando-os com os modelos apresentados por Moonil et al. (2002) e Ahring et al. (2000), é proposto na Fig. 2 uma hipótese construtiva para reatores anaeróbios onde se realizaria o aquecimento e o controle de temperatura.

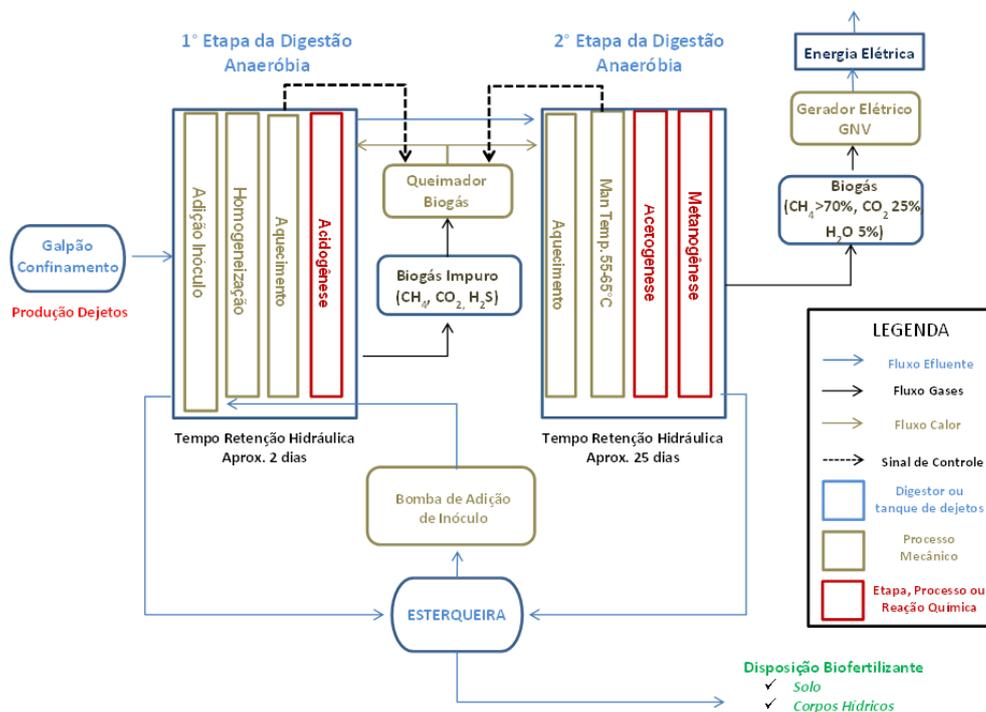


Figura 2 – Esquema da hipótese construtiva proposta

O modelo de digestão anaeróbio proposto pode ser empregado em qualquer situação de descarga de efluente, pois ele evita (controla) mudanças abruptas de temperaturas que afetariam as condições bacterianas. Essas ações tendem a acelerar o processo microbiano e levar a uma redução eficaz da carga orgânica e, também, do tempo de retenção hidráulica. Na Figura 3 podemos visualizar o croqui da hipótese construtiva. Salienta-se que o modelo desenvolvido segue os conceitos construtivos dos reatores que são atualmente desenvolvidos nos EUA e Alemanha, no qual a parte cônica é enterrada e a parte cilíndrica é disposta sobre o solo. A vantagem desse modelo é que ele pode ser empregado na quase totalidade das propriedades rurais, na medida em que não necessita de uma profundidade maior que 1,5m (um metro e cinquenta centímetros). E, no que tange ao isolamento térmico das paredes dos digestores, mantas isolantes serão empregadas para reduzir a troca de calor com o ambiente, aumentando a eficiência da manutenção da temperatura interna.

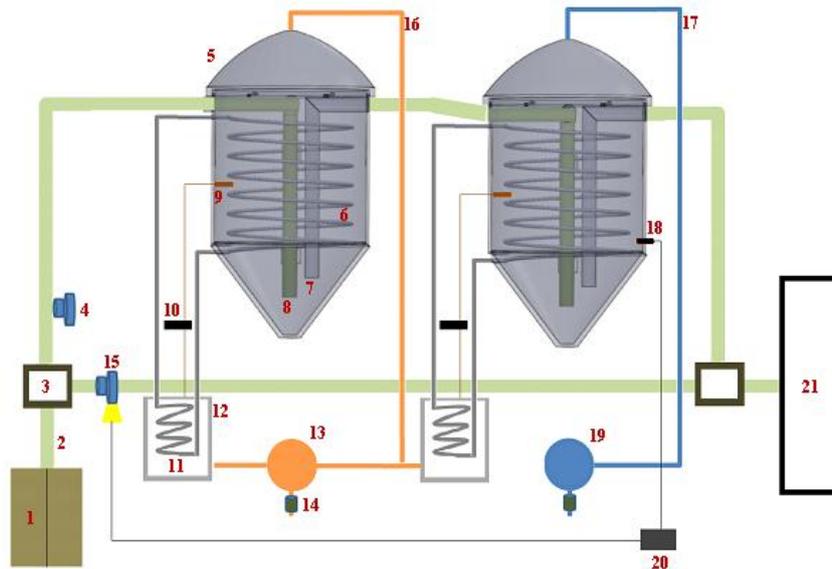


Figura 3 – Croqui esquemático da hipótese construtiva

Onde: 1, Poclga de dejetos; 2, Tubulação 150mm; 3, Caixa de passagem; 4, Bomba elevação; 5, Reator acidogênese; 6, Serpentina alumínio; 7, Tubulação movimentação; 8, Tubulação limpeza; 9, Sensor Temperatura; 10, Microcontrolador; 11, Trocador de calor; 12, Aquecedor; 13, Gasômetro Biogás impuro; 14, Válvula alívio pressão; 15, Bomba adição inoculo; 16, Tubulação biogás impuro; 17, Tubulação biogás; 18, Sensor pH; 19, Gasômetro Biogás; 20, Medidor pH e microcontrolador; 21, Lagoa Biofertilizante.

Em relação aos biodigestores implantados no Brasil, propõem-se o acréscimo dos equipamentos e acessórios expostos juntamente com a construção do reator de acidogênese, que apresentaria 2/40 do volume sobre os modelos de digestores utilizados no Brasil (Fig. 1) ou 2/25 do volume utilizado na hipótese construtiva (Fig. 2), conforme Eq. (1) para dimensionamento do reator de acidogênese.

$$V_{ra} = \frac{TRH_{ra}}{TRH_{rm}} \times V_{rm} \quad (1)$$

Onde: V_{ra} , volume do reator de acidogênese; TRH_{ra} , tempo de retenção hidráulica do reator de acidogênese; TRH_{rm} , tempo de retenção hidráulica do reator de metanogênese; e, V_{rm} , volume do reator de metanogênese.

A Figura 4 apresenta detalhes do sistema de aquecimento e controle da temperatura desenvolvido neste projeto para qualquer tipo de reator anaeróbio.

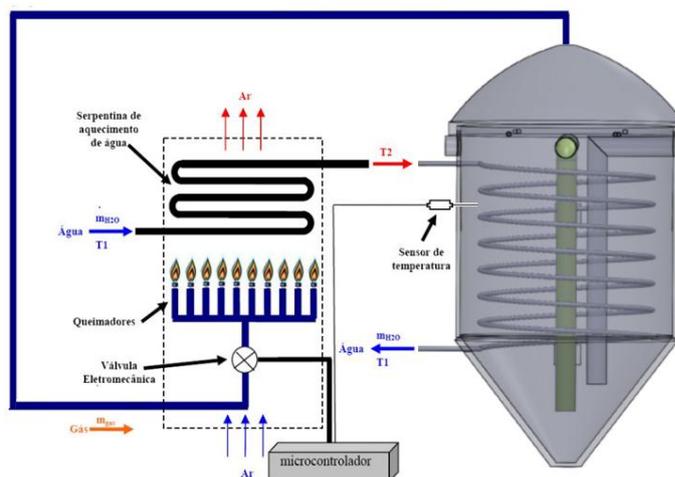


Figura 4 – Detalhes do sistema de geração de energia térmica pelo aproveitamento do biogás com maior teor de H_2S .

O biogás da 1ª Etapa de digestão, oriundo de processo predominantemente de acidogênese, possui maior teor de H₂S (Gás Sulfídrico), tendo restritas suas aplicações nobres pela elevada corrosividade. Mas, em queimadores apropriados, conforme se está sugerindo nas Fig. 3 e Fig. 4, esse biogás poderá gerar energia térmica e ser aproveitado no aquecimento e manutenção da temperatura da 1ª e 2ª Etapa da digestão, viabilizando tanto a biodigestão mesofílica quanto a termofílica, nas quais, por meio de pré-programações definidas em um microcontrolador, pode-se manter a temperatura do reator entre (30-35°C ou 55-65°C). Ajustando-se a finalidade pretendida pelo produtor rural.

O aquecimento não só é crucial para a garantia dos processos de digestão anaeróbia, mas, no caso da biodigestão termofílica, também garante a esterilização do efluente animal, eliminando patógenos e reduzindo a carga orgânica para atender aos limites de lançamentos.

Para aquecimento e controle da temperatura, é necessário o controle das descargas dos efluentes na 1ª Etapa e a medição da sua temperatura de entrada. Como o objetivo deste projeto é a utilização dos biodigestores com eficiência em todas as estações do ano, foi empregado o valor de 15°C para o efluente de entrada no processo (simulando temperatura de inverno) e de 63°C para o efluente remanescente no reator de acidogênese (simulando uma taxa de ineficiência de medição sobre os 65°C pretendidos), com a quantidade de descargas variável para se ajustar e evitar uma variação abrupta das condições de digestão do reator.

Tomando por base a primeira Lei da Termodinâmica (Eq. 2), sendo Q=energia, tem-se:

$$Q_{cedido} = Q_{recebido} \quad (2)$$

Considerando-se que nenhum trabalho é empregado na homogeneização do efluente de entrada (índice 2, água fria) com o residente no reator de acidogênese (índice 1, água quente), têm-se a Eq. 3. na qual: m, vazão em massa (litros/h); c, calor específico (Kcal/Kg°C); t, temperatura em °C, e como c₁=c₂, uma vez que, para efeitos práticos, trata-se do mesmo líquido, temos que:

$$\begin{aligned} m_1 c_1 (T_{i1} - T_f) &= m_2 c_2 (T_f - T_{i2}) \\ m_1 T_{i1} + m_2 T_{i2} &= (m_1 + m_2) T_f \end{aligned} \quad (3)$$

Onde: m₁= volume de efluente quente no reator de acidogênese (V_{EFA}); T_{i1}= temperatura do efluente no reator de acidogênese (T_{ERA}); m₂= volume de efluente da descarga de entrada (V_{EF}); T_{i2}= temperatura efluente entrada (T_{ef}); T_f= temperatura da mistura (T_{mist}); m₁+m₂= volume do reator de acidogênese (V_{RA}).

Substituindo os valores das temperaturas dos efluentes de entrada e do reator, temos:

$$\begin{aligned} 63V_{EFA} + 15V_{EF} &= T_{mist} \times V_{RA} \\ T_{mist} &= \frac{63V_{EFA} - 15V_{EF}}{V_{RA}} \end{aligned} \quad (4)$$

A Equação (4) apresenta o controle do fluxo de entrada do efluente no reator com o cálculo da temperatura do efluente homogeneizado após a descarga para processos termofílicos, devendo salientar que a temperatura de mistura (T_{mist}) não deve ser inferior a 55°C, o que afetaria a colônia de bactérias instalada.

Para processos mesofílicos, basta substituir o valor da temperatura do efluente no reator de acidogênese (T_{ERA}) de 63 para 35°C, sendo que o valor da temperatura de mistura (T_{mist}) não deve ser inferior a 30°C.

Em relação ao dimensionamento do sistema de aquecimento, foi tomado por base a eficiência de um aquecedor a biogás (CH₄ > 65%, com PCI de 5500 Kcal) no qual a eficiência do queimador é de 93% sobre o PCI do biogás. Utilizando o volume do reator de acidogênese (V_{ra}) Eq.(1), deve-se buscar determinar quantas descargas diárias são necessárias para que o volume de efluente da descarga de entrada (V_{EF}) injetado nos biodigestores mensurado na Eq. (4) não provoque redução além da indicada pelo processo.

Dessa forma, para quantificar a quantidade de descargas diárias a serem realizadas (Q_{desc}), devemos efetuar a razão entre o volume de dejetos produzidos na pocilga (V_{dej}) e o volume de efluente da descarga de entrada (V_{EF}), sendo determinado pela Eq. (5).

$$Q_{desc} = \frac{V_{dej}}{V_{EF}} \quad (5)$$

Com a determinação da totalidade das descargas diárias a serem realizadas, podemos determinar o intervalo de horas entre as descargas (Int_{desc}), pela razão entre a quantidade de horas diárias ($H_{diárias}$) e a quantidade de descargas (Q_{desc}), Eq. (6).

$$Int_{desc} = \frac{H_{diárias}}{Q_{desc}} \quad (6)$$

Após, pode-se calcular a quantidade de biogás por hora ($Nm^3.biogás/hora$) a ser consumida para a manutenção da temperatura ideal do sistema pela determinação da quantidade de energia por hora (QE_{hora} , °C/hora) que deve ser fornecido ao reator de acidogênese – que é verificada pela razão entre a diferença de temperatura do efluente no reator de acidogênese (T_{ERA}), 63°C para termofílicos e 35°C para mesofílico, e a temperatura da mistura (T_{mist}), pelo intervalo entre as descargas (Int_{desc})– multiplicado pelo volume do reator de acidogênese, pela eficiência de conversão da energia por normal metro cúbico de biogás pelo queimador (Ef_q) e pela razão entre do poder calorífico inferior medido do biogás (P_{bio}) e P_{medio} (5500 Kcal/ Nm^3 , valor médio do biogás para cálculo da eficiência), Eq.(7).

$$°C Nm^3 biogás / hora = \frac{T_{ERA} - T_{mist}}{Int_{desc}} \times V_{RA} \times Ef_q \times \frac{P_{bio}}{P_{medio}} \quad (7)$$

Pode-se determinar por meio das equações acima expostas um maior controle sobre as subetapas dos reatores anaeróbios através do gerenciamento da temperatura dos mesmos.

Seu grau de aplicação está restrito a verificação dos resultados em um protótipo. Contudo, verifica-se grande potencial de sustentabilidade pela possibilidade de aumento dos processos metabólicos da digestão, o que levaria a adequação aos padrões ambientais de lançamento do biofertilizante gerado, além de agregar valor às atividades de produção de suínos e bovinos leiteiros pela possibilidade implantação de sistemas de geração de energia elétrica que possuiriam fornecimento constante de biogás.

Conclusão

Os biodigestores anaeróbios aceleram a degradação de resíduos orgânicos e devem ser implantados para aprimoramento das técnicas produtivas no meio rural sobre processos que degradem poluentes produzidos pelas atividades humanas.

O sistema proposto, aparentemente mais complexo que o atualmente empregado, na verdade apresenta sistemas de controle e acionamentos de simples implantação, operação e manutenção. Seus materiais, ferramentas e acessórios são de fabricação e rede de garantia nacional.

Como sugestão a novos trabalhos, sugere-se: a modelagem de um digestor para cama de frango; e o desenvolvimento de um software de gestão.

Agradecimentos

Agradeço a UNIJUI pela estrutura e suporte acadêmico e aos meus orientadores, os professores Dr. Luis Antonio Bortolaia e Dr. Antonio Carlos Valdiero, pela orientação e apoio ao desenvolvimento deste trabalho, bem como aos meus pais e irmãos pelo imenso amor, educação, cultura e suporte em minha caminhada acadêmica, além da minha querida esposa pelo amor e companheirismo.

Referências Bibliográficas

- Ahring, Birgitte K.1,2*; Ashraf, Ibrahim A1.; Mladenovska, Zuzana1., “Effect of temperature increase from 55 to 65°C on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure”. 1) The Anaerobic Microbiology/Biotechnology Research Group, Department of Biotechnology, Building 227, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark; 2) School of Engineering and Applied Science, Civil and Environmental Engineering Department, 5732 Boelter Hall, Box 951593, University of California, Los Angeles, CA 90095-1593, USA. 2000.
- Moonil, Kim1; Young-Ho; Ahn2, R.E. Speece1., “Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic”. 1) Department of Civil & Environmental Engineering, Vanderbilt University, PO Box 1831, Station B, Nashville, TN 37235, USA; 2) Department of Civil Engineering, Yeungnam University, Kyungsan 712-945, South Korea. 2002.
- Moraes, L.M.; Paula Junior, D.R. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura. Eng. Agric., Jaboticabal, v.24,n.2, p.445-454, maio/ag. 2004. Arato Junior, A., “Manutenção Preditiva Usando Análise de Vibrações”, Editora Manole Ltda., Barueri, SP, 200p., 2004.