



## ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DA VINHAÇA NO ESTADO DE MATO GROSSO

Leandro de Souza Claudio Machado<sup>1</sup> (EPA/UNEMAT) – leandro.machado@gmail.com

William Leonardo Vieira Coelho<sup>2</sup> (EPA/UNEMAT) - wyllyan\_coelho@hotmail.com

Fabrizio Schwanz da Silva<sup>3</sup> (DEPA/UNEMAT) - fabricio@unemat.br

Alexandre Gonçalves Porto<sup>4</sup> (DEPA/UNEMAT) - agporto@fecilcam.br

Philippe dos Santos<sup>5</sup> (EALI/UNEMAT) – ph\_sinop@hotmail.com

*Resumo: A vinhaça apresenta-se atualmente como o resíduo de maior quantidade gerado na produção de álcool, sendo atualmente na maioria das indústrias sucroalcooleiras utilizada como fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar, onde sua utilização contínua poderá acarretar futuramente a contaminação do solo e do lençol freático sendo assim, um agente de contaminação ambiental. A produção de energia a partir deste resíduo apresenta-se como uma alternativa ecologicamente correta para o tratamento deste material, além de permitir a produção de biogás, poderá também melhorar as características físico-químicas da vinhaça. O presente trabalho teve por objetivo uma análise teórica do potencial de geração de energia através da utilização da vinhaça, em biodigestores de fluxo ascendente do tipo UASB “Upflow Anaerobic Sludge Blanket”. Com os resultados obtidos ao longo da realização deste trabalho, foi possível verificar que há redução das cargas poluidoras, mas com conservação das propriedades fertilizantes e a comprovação do potencial de geração de energia elétrica a partir da vinhaça.*

*Palavras-chave: vinhaça, biogás e energia.*

### 1. Introdução

O Brasil teve uma colheita recorde de cana-de-açúcar na safra 2009, atingindo produção entre 622 milhões e 633,7 milhões de toneladas destinadas exclusivamente ao setor sucroalcooleiro. Isso representa um crescimento entre 8,6% e 10,7% na comparação com a safra do ano de 2008, na qual 572,5 milhões de toneladas foram destinadas à produção de açúcar e álcool. A área ocupada com canaviais aumenta de 7,08 milhões para 7,79 milhões de hectares, essas estimativas são da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), (ALISKI, 2009). Para a produção de derivados da cana-de-açúcar, como por exemplo, álcool

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Universidade do Estado de Mato Grosso.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Universidade do Estado de Mato Grosso.

<sup>3</sup> Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas. Mestre em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor do Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial e Engenharia de Alimentos da Universidade do Estado de Mato Grosso. Áreas de atuação: Armazenamento e secagem de produtos agrícolas.

<sup>4</sup> Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas. Mestre em Ciências e Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande. Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas. Professor do Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial e Engenharia de Alimentos da Universidade do Estado de Mato Grosso. Áreas de atuação: Armazenamento e secagem de produtos agrícolas.

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia de Alimentos pela Universidade do Estado de Mato Grosso.



e açúcar, existem ao longo de sua linha de produção a geração de inúmeros resíduos, e o que mais destaca-se em quantidade é a vinhaça ou vinhoto, que aumenta gradativamente ano a ano com o incremento da produção e processamento da cana. A crescente demanda pelo etanol, inclusive por países, devido ao fato dos mesmos estarem cada dia mais adotando-o como aditivo dos combustíveis fósseis, faz com que haja um acréscimo da produção e conseqüentemente dos resíduos, pois segundo Salomon (2007), para cada litro de álcool produzido em uma usina, se produz-se em torno de 13 litros de vinhaça.

Uma alternativa que atualmente apresenta-se para o tratamento da vinhaça é a utilização de biodigestores anaeróbicos para evitar o lançamento direto deste resíduo no solo, prática esta utilizada por meio de plantas pilotos em algumas usinas canavieiras. A utilização da vinhaça após tratada pela biodigestão favorece ou reduz a poluição do solo e água. Sendo assim após o tratamento ela continuará a ser utilizada no processo de fertirrigação, pelo fato de ainda ser rica em matéria orgânica e nutrientes minerais, mas com baixos índices de DBO/DQO (demanda bioquímica por oxigênio/demanda química por oxigênio), ou seja menos poluidoras. Este tipo de tratamento sofrido pela vinhaça permite além dos benefícios ambientais, também a geração do gás metano, que posteriormente poderá ser transformada em outra forma de energia, como exemplo a elétrica.

O objetivo do presente trabalho foi analisar a potencialidade do estado de Mato Grosso na geração de energia elétrica e verificar teoricamente a alteração da composição físico-química da vinhaça através da biodigestão anaeróbica em um reator do tipo “*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*” (UASB).

## **2. Procedimentos Metodológicos**

Para a realização do presente trabalho, uma das metodologias empregadas foi a revisão bibliográfica, que segundo Furasté (2008) baseia-se fundamentalmente no manuseio de obras literárias, impressas ou capturadas via internet. É um dos tipos mais largamente utilizados na elaboração de trabalhos acadêmicos e científicos. Deve atender aos objetivos do autor, uma vez que precisa ir ao encontro da solução para o problema levantado.

Lakatos e Marconi (1992) afirmam que a pesquisa bibliográfica trata-se de um levantamento do máximo possível de bibliografia já publicada referente ao tema principal do trabalho, em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. Tendo como objetivo colocar o pesquisador em contato direto com tudo aquilo que já foi escrito sobre o assunto pesquisado.

Os dados e informações utilizados nas análises para a geração dos resultados foram obtidos da bibliografia especializada e são os seguintes: área plantada, produção e produtividade de cana-de-açúcar do Brasil e do Mato Grosso, rendimento de álcool por quantidade de cana-de-açúcar processada, quantidade de vinhaça gerada por litro de álcool processado e a demanda química de oxigênio da vinhaça (DQO).

Para a determinação do potencial energético advindo da biodigestão anaeróbica da vinhaça, considerando a utilização de um reator do tipo UASB “*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*” para a realização desta operação, foi utilizada para os cálculos da quantidade produzida de biogás e energia elétrica a metodologia proposta por Lamo (1991), aplicado por Granato (2003).

### **2.1. Fundamentação Teórica**

### **2.2. Produção Nacional de Cana-de-açúcar e Álcool**



A produção de cana-de-açúcar no Brasil vem crescendo a cada ano, em consequência principalmente do aumento dos carros do tipo “Flex Fuel”, que podem utilizar mais de um tipo de combustível. O interesse de outros países em adicionar o etanol na gasolina como forma de minimizar o lançamento de gases na atmosfera, contribuindo assim com a preservação do meio ambiente, juntamente com o citado por Moraes e Shikida (2002), que afirmam que os fatores que mais estimulam a produção e uso do etanol são: o risco do esgotamento das reservas de petróleo, crescimento demográfico mundial, instabilidade dos países do Oriente Médio e o constante acréscimo do preço do mesmo, são os possíveis fatores responsáveis pelo aumento da produção.

Com este cenário o Brasil se sobressai por reter vasta experiência no setor sucroalcooleiro, na produção e consumo do etanol como combustível; que encontra-se em ampla utilização, sendo o país, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009). A produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool no Brasil apresentou, de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA 2008), um crescimento ano a ano, desde a safra de 2000/2001. Os números apontam e confirmam a tendência de um incremento considerável na produção de álcool em relação ao açúcar. Esta tendência responde ao comportamento dos dois mercados, pois, se por um lado, o consumo do açúcar tem um padrão estável de crescimento, o álcool, por sua qualidade como combustível automotor, ocupa espaços significativos como um produto de fonte limpa e renovável, com capacidade de adição e substituição da gasolina. Como consequência desta tendência, a destinação da cana-de-açúcar para a produção de álcool está cada vez mais se tornando crescente nas unidades de produção (CONAB 2008).

### **2.3. Resíduos Gerados no Processamento da Cana-de-açúcar**

No processo produtivo da indústria canavieira, geram-se diferentes tipos de resíduos. Da cana-de-açúcar aproveita-se praticamente tudo, pois os subprodutos e resíduos podem ser utilizados na alimentação (humana e animal), como fertilizantes e para a co-geração de energia e segundo Bertoncini (2008) os principais resíduos deste tipo de indústria são: palhas, bagaço, torta de filtro, cinzas, águas residuárias e vinhaça.

Considerado o mais importante resíduo da indústria sucroalcooleira, a vinhaça, segundo Salomon (2007), é um efluente com elevado teor poluidor e gerado em grande volume, complicando assim o seu transporte e eliminação. Ela é originada na produção de etanol, pois segundo Marques (2007), são gerados em média 13 litros de vinhaça por litro de álcool produzido, mas isso depende diretamente da natureza da matéria-prima processada. Sua utilização tem como principais aplicações a produção de metano e fertilização de solos, promovendo a fertirrigação e com isso melhorar a imagem da indústria canavieira perante os seus clientes em potencial e os órgãos ambientais.

### **2.4. Definição e Composição da Vinhaça**

A vinhaça de acordo com Souza (2005), é um resíduo gerado da destilação do vinho, obtido do processo de fermentação alcoólica do caldo da cana na produção do etanol, e segundo Freire; Cortez (2000, p. 17)

“A vinhaça de cana-de-açúcar é um líquido de cor marrom escuro, de natureza ácida, que sai da bica de destilação à temperatura de aproximadamente 107°C, com cheiro que vai do adstringente ao nauseabundo, qualidade esta relacionada ao teor residual de açúcar o qual, por sua vez provoca um processo de putrefação tão logo a vinhaça é descarregada, liberando gases fétidos que tornam os ambientes insuportáveis.”.

De acordo com Glória; Orlando Filho apud Luz (2005), a composição química da

vinhaça pode variar dependendo do material de origem (mosto), do método de fermentação adotado e do sistema de condução da fermentação alcoólica, etc. Devido a isto a composição média da vinhaça esta apresentada na Tabela 1. Líquidos que podem de alguma maneira passar por fermentação é classificado como mosto, já o liquido que passou por essa transformação é definido como vinho, e o vinhoto nada mais é do que o subproduto ocorrido na destilação destes vinho (FREIRE; CORTEZ, 2000). Na Tabela 1, observa-se que a vinhaça contém muito K, matéria orgânica, e quantidades razoáveis de N, S, Ca e Mg, com isso ela facilmente poderá substituir a adubação potássica e de enxofre, e levemente a de nitrogênio.

Tabela 1 - Composição química média da vinhaça.

Elemento	Vinhaça Conforme o Tipo de Mosto		
	Melaço	Misto	Caldo
N (Kg/m <sup>3</sup> )	0,77	0,46	0,28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	0,19	0,24	0,20
K <sub>2</sub> O (Kg/m <sup>3</sup> )	6,00	3,06	1,47
CaO (Kg/m <sup>3</sup> )	2,45	1,18	0,46
MgO (Kg/m <sup>3</sup> )	1,04	0,53	0,29
SO <sub>4</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	3,73	2,67	1,32
Mat.Orgânica(Kg/m <sup>3</sup> )	52,04	32,63	23,44
Fe (ppm)	80,00	78,00	69,00
Cu (ppm)	5,00	21,00	7,00
Zn (ppm)	3,00	19,00	2,00
Mn (ppm)	8,00	6,00	7,00
pH	4,40	4,10	3,70

Fonte: Glória; Orlando Filho apud LUZ (2005)

## 2.5. Aplicações da vinhaça

Em consequência da vinhaça ser o principal resíduo do setor sucroalcooleiro, vários pesquisadores estudam sobre as diversas formas de aplicações para o grande volume de vinhaça gerado pelas usinas na produção de álcool, volume esse que é muito superior ao volume de 30 anos atrás onde este resíduo era depositado diretamente nos corpos d'água, época na qual iniciou-se os estudos para identificar os usos potenciais da vinhaça, e com isso de acordo com Camhi apud APTA (2007), há varias formas de aplicações para a vinhaça, que são: concentração da vinhaça por evaporação ou secagem para alimentação animal, que de acordo com Simões et al, (2004) com isso acarretará a diminuição do volume original do vinhoto, havendo assim ganho no que diz respeito a saneamento ambiental; fermentação aeróbia por microrganismos para a produção de proteínas unicelulares; fertirrigação, a cana-de-açúcar esta entre as culturas que mais faz uso de fertilizantes (VITTI, 2005), com isso o uso da fertirrigação através da vinhaça proporcionará uma redução de custos com a fertilização química; biodigestão anaeróbia utilizando bactérias metanogênicas para a produção de metano (biogás), onde este poderá ser empregado como combustível em motores, aquecedores, fogões e em alguns outros equipamentos de queima direta CPT (2003). Sendo essas duas últimas sugestões, as que mais apresentam potencial para utilização nas usinas produtoras de álcool e açúcar.

## 2.6 “Malefícios” da Vinhaça para o Meio Ambiente

O problema da vinhaça aumentou com a criação do (Programa Nacional do Álcool) PROALCOOL que visava o aumento da produção do álcool, para substituir em parte a utilização da gasolina, com isso o volume da vinhaça também aumentou em relação a quantidade produzida anteriormente, fazendo com que se intensificassem os estudos relacionados a destinação deste resíduo. A vinhaça quando lançada diretamente em rios e riachos, ou seja, em qualquer que seja o tipo de curso d'água ou lençol freático, surgirá como



um grande problema ambiental, pois segundo Longo (1994), isso é devido a sua elevada taxa redutora, pois com isso a vinhaça requer-se de um amplo volume de oxigênio para se oxidar, e ainda de acordo com Kirzner apud Ludovice (1997) que complementa este pensamento, afirma que a vinhaça detêm o maior teor poluidor dentre outros resíduos industriais, comparando-se sua DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) com outros resíduos, como por exemplo a DBO (média) da vinhaça é de  $30.000 \text{ mg.l}^{-1}$ , cortumes  $4.000 \text{ mg.l}^{-1}$  e indústria têxtil  $1.200 \text{ mg.l}^{-1}$ .

## 2.7 Biogás: Potencial Energético e Biodigestão

O biogás de acordo com Lamo (1991) é proveniente da conversão da biomassa em energia secundária nos biodigestores anaeróbicos, ele se enquadra como sendo uma fonte de energia renovável, energia “limpa”. Os estudos em relação ao biogás só se intensificaram a partir do estabelecimento do protocolo de Kyoto em 1997, pois de acordo com Moraes; Shikida (2002) o protocolo de Kyoto estabelecia que as nações industrializadas reduzissem em 5,2% suas emissões de gases em relação a 1990, a partir de 2008 e até 2012.

A quantidade de biogás produzida através da biodigestão equivale, de acordo com Castanon apud Salomon (2007) de 2 a 4% do peso da matéria orgânica utilizada no processo.

A composição média do biogás esta na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição média do biogás proveniente de diferentes resíduos orgânicos.

Gás	Porcentagem (%)
Metano ( $\text{CH}_4$ )	40 - 75
Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )	25 - 40
Nitrogênio (N)	0,5 - 2,5
Oxigênio (O)	0,1 - 1
Acido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0,1 - 0,5
Amoníaco ( $\text{NH}_3$ )	0,1 - 0,5
Monóxido de carbono (CO)	0 - 0,1
Hidrogênio (H)	1 - 3

Fonte: Castanon apud Salomon (2007)

De acordo com Granato (2003, p. 51),

“O potencial de geração de biogás a partir da vinhaça é variável conforme seu conteúdo de matéria orgânica biodegradável durante o processo. A aplicação do processo fermentativo anaeróbio tem envolvido a utilização de reatores de grandes volumes devido à incapacidade desses sistemas convencionais na retenção da população microbiana de elevado tempo de duplicação”.

Ainda em Souza apud Granato (2003), quanto a tecnologia de biodigestão, consideram-se reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) como sendo os reatores que mais se adaptam ao processo de digestão anaeróbica da vinhaça. De acordo com Salomon (2007) este tipo de reator trata se de um modelo bem simples, onde o mesmo é composto de um tanque, contendo uma divisão com um digestor localizado na sustentação, possuindo o leito de lodo biológico e na extremidade está localizado um decantador seguido por um sistema de separação de gás. A seguir na Figura 1, pode-se observar a representação de um reator do tipo UASB.

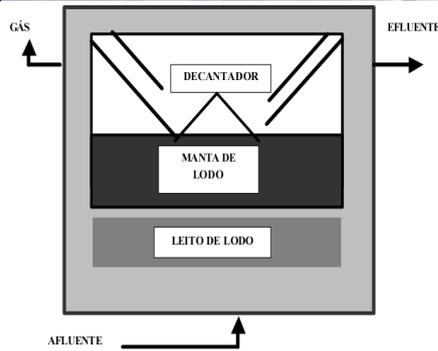


Figura 1 - A representação de um reator do tipo UASB. Fonte: Granato (2003).

Este reator de acordo com Granato (2003, p.34) tem como principal característica seu funcionamento básico e simples:

o efluente é bombeado de baixo para cima, através do reator, que se encontra sob estritas condições anaeróbias, a uma velocidade de ascensão que varia de 0,5 a 1,5 m/h; dentro dele ocorre um processo de seleção que pode resultar no crescimento de microorganismos anaeróbios em conglomerados compactos (grânulos) de tamanho variando entre 0,5 e 5 mm. Esses grânulos são poderosos biocatalíticos que podem converter a matéria orgânica degradável em biogás, de maneira rápida e completa, com cargas de DQO variando de 10 a 25 kg DQO por m<sup>3</sup> de reator por dia.

O processo que se passa dentro do reator ocorre através da digestão anaeróbica que é o processo biológico de tratamento de efluentes, e que tem como proveito a redução da DBO e DQO, permitindo assim tornar a vinhaça após a biodigestão um resíduo de melhor qualidade para ser lançada nas lavouras. De acordo com Peres (2007) a biodigestão ocorre devido à atividade microbiana, que na qual se encontra alguns grupos metabólicos de bactéria, ou seja, trata-se da decomposição da matéria orgânica através de bactérias em um meio onde não há oxigênio. Segundo Salomon (2007), a biodigestão anaeróbica que ocorre através de um biodigestor é semelhante à que ocorre no ecossistema, na qual as bactérias trabalham para realizar a transformação da matéria orgânica em metano.

O processo de decomposição anaeróbica se dá através de diferentes fases e será demonstrado a seguir, de acordo com Toledo apud Granato (2003, p. 49-50),

na primeira etapa do processo estão envolvidas bactérias fermentativas, não produtoras de metano, que atuam por hidrólise extracelular quebrando polímeros orgânicos em suas unidades fundamentais, incorporando e fermentando esses produtos de hidrólise em ácidos orgânicos, álcoois, hidrogênio e dióxido de carbono. No segundo estágio, tais produtos são transformados em metano e dióxido de carbono pela ação das bactérias acetogênicas e metanogênicas. As bactérias metanogênicas em relação às bactérias produtoras de ácidos se reproduzem mais lentamente e são mais sensíveis às alterações das condições ambientais ou a condições adversas, como a presença de compostos inibidores. Assim sendo, procura-se favorecer ao máximo as condições ótimas de trabalho desse grupo de bactérias, operando-se com pH próximo da neutralidade, temperatura entre 35 e 37°C e evitando-se a presença no meio de fermentação de compostos químicos em concentrações inibidoras.

## 2.8 Geração de energia

Para a utilização do biogás este deve passar por algumas etapas para ser “limpo” e assim poder ser adotado como combustível, isso é devido a presença no biogás de substâncias não combustíveis, como a água e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que prejudicam o processo de queima, fazendo com que o biogás seja menos eficiente. Há também a presença de ácido

sulfídrico ( $H_2S$ ), que pode provocar corrosão precoce dos equipamentos. Vale ressaltar que o tipo de tecnologia de limpeza de substâncias indesejáveis empregada ao biogás, irá depender da porcentagem de impurezas encontrada em relação ao índice recomendado pelo equipamento de conversão a ser utilizado, ou seja substâncias que possuam níveis aceitáveis de acordo com o fabricante não será necessário a retirada da mesma. Contudo de acordo com Tolmasquim apud Figueiredo (2007), se o biogás estiver o seu uso destinado: a caldeiras, este requer tratamento mínimo; para gasodutos é imprescindível o tratamento para retirada de  $CO_2$ .

Sendo assim de acordo com Salomon (2007) as práticas com maior índice de utilização para a realização de purificação do biogás são: Remoção de umidade; Remoção de Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), visto que há uma abundância de processos para retirada do  $CO_2$  contido no gás natural empregado pelas indústrias petroquímicas. Existem diversos mecanismos que conseguem separar alguns constituintes do gás, sendo eles: absorção física e química, adsorção em uma superfície continua, separação por membranas, separação criogênica e separação a partir de conversão química (reações químicas); Remoção de  $H_2S$ , ressaltando que o  $H_2S$  pode provocar a corrosão dos equipamentos como compressor, motores em geral, turbinas e nos tanques de armazenamento, portanto este deve ser removido para que isto não aconteça. Com isso o  $H_2S$  poderá ser removido através do processo seco de oxidação e processos de oxidação na fase líquida.

Contudo de acordo com Lamo (1991) têm-se com a vinhaça 0,30 litros de  $CH_4/gDQO$  consumida, sendo que a proporção de  $CH_4$  no biogás é de 55 a 65% (sendo o restante  $CO_2$ ). Na Figura 2 está apresentado as diferentes fases para produção e utilização do biogás por meio da biodigestão anaeróbica.

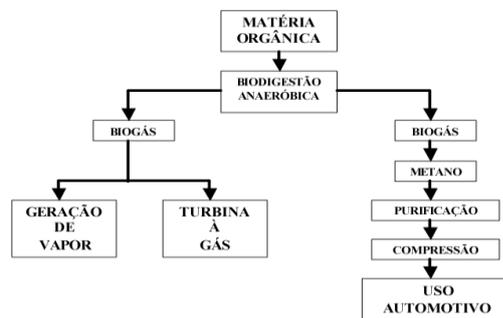


Figura 2 - Fases da produção e utilização do biogás. Fonte: Lamo (1991).

Sendo assim de acordo com Costa (2006 p.47)

Existem diferentes alternativas de purificação aplicáveis ao biogás, devendo ser definida a mais adequada para a aplicação energética que se pretende. Por exemplo, para a aplicação no ramo automotivo, é necessária uma etapa de purificação onde o biogás passa por um filtro de óxido de ferro, responsável pela retirada dos traços de enxofre. Livre de  $H_2S$  o biogás é enviado ao compressor de baixa pressão, que tem por finalidade forçar a passagem do biogás através de uma torre de absorção de  $CO_2$ . Nesta torre, água pressurizada é pulverizada em pequenas gotículas para facilitar a absorção do  $CO_2$ . Este processo resultará na dissolução do  $CO_2$ , formando  $H_2CO_3$ , que é enviado para a caixa de eliminação, que tem por finalidade separar o gás carbônico da água, onde o  $CO_2$  é liberado para a atmosfera. Após este processo a água é recalçada para a torre de absorção e o metano purificado é submetido ao processo de armazenamento.

Para o seu uso em caldeiras de acordo com Salomon (2007), esta deve sofrer algumas adaptações para utilizar este novo combustível, como por exemplo, reduzir seu nível de umidade, que é controlado através de purgadores e linhas de condensação, isso é feito para que o biogás não cause danos à caldeira, outro resíduo que é considerado “inimigo” da



caldeira é o  $H_2S$ , que também pode provocar danos, como a corrosão.

Para a utilização do biogás em turbinas, este também irá passar pelo processo de limpeza, onde se deve principalmente retirar o  $H_2S$ , para que este não cause nenhum tipo de dano a turbina (corrosão), feito isto o biogás estará pronto para ser o combustível que alimentará a turbina, que na qual a mesma irá “tocar” um gerador, produzindo assim energia elétrica. Todavia através da utilização do biogás, seja para uso automotivo, em caldeiras, turbinas, etc. , cabe ressaltar que esta iniciativa é positiva ao meio ambiente, uma vez que estará contribuindo através da eficiência ambiental, ou seja, com menor emissão de poluentes.

### 3. Resultados e Discussão

Para a realização dos cálculos necessários para a determinação da energia gerada pela biodigestão anaeróbica da vinhaça em um reator do tipo UASB, foi necessário o levantamento de informações indispensáveis a realização desta etapa. Estes dados foram obtidos através de uma análise de diversos trabalhos e artigos de autores especializados na área deste estudo.

Estas informações referem-se a: produção de cana-de-açúcar no estado de Mato Grosso em toneladas, produtividade da cana-de-açúcar produzida no estado de Mato Grosso em tonelada por hectare, rendimento de álcool por tonelada de cana-de-açúcar em litros, quantidade de vinhaça produzida por litro de álcool industrializado em litros e a demanda química de oxigênio da vinhaça (DQO) em miligramas por litro. Em vista da heterogeneidade dos dados obtidos de diferentes autores para a mesma informação, os mesmos serão apresentados na forma de limites superior e inferior, com o intuito de fornecer um intervalo. Na Tabela 3, pode-se observar os dados referentes a produção e produtividade da cana-de-açúcar do estado de Mato Grosso, com seus respectivos limites.

Tabela 3 - Produção estimada (ton) e produtividade (ton/ha) de cana-de-açúcar do estado de Mato Grosso

Fatores	Limite superior	Limite inferior
Produção (mil ton) de Mato Grosso	15.213,7	14.912,5
Produtividade (ton/ha) de Mato Grosso	68,2	66,8

Fonte: CONAB (2009)

As áreas plantadas no estado do Mato Grosso com Cana-de-açúcar de acordo com a CONAB (2009), são de 223,2 mil hectares. Os limites inferior e superior foram calculados pela multiplicação da área plantada e a produtividade.

De acordo com os dados descritos, pode-se observar que o Mato Grosso apresenta aproximadamente 2,9% do total de área plantada de cana perante o cenário nacional. Mas segundo o Sindicato das Indústrias Sucroalcooleiras do Estado de Mato Grosso (SINDALCOOL/MT, 2009), há perspectiva de expansão em 35 mil hectares dessa área, isso é devido a entrada de mais indústrias sucroalcooleiras no estado, principalmente na região de Alto Taquari. Na Tabela 4, observa-se a produção de álcool por tonelada de cana-de-açúcar, a produção de vinhaça por litro de álcool industrializado e a demanda química de oxigênio da vinhaça (DQO).

Tabela 4 - - Produção de álcool, vinhaça e DQO da vinhaça.

Fatores	Limite superior	Limite inferior
Produção de álcool por quantidade de cana processada (l/ton)	90,0*	67,0**
Produção de vinhaça por litro de álcool (l)	18,0 <sup>+</sup>	10,0 <sup>++</sup>
DQO (mg/l)	40.000 <sup>-</sup>	25.000 <sup>-</sup>

Fonte: (\*) Andreoli e Souza (2006); (\*\*) Corsini (2009); (°) Rossetto (1983); (++) Barros (2008), Rossetto (1983) e Felicio (2008); (°) Lamo (1991); (°) Freire e Cortez (2000).

Esses índices, são influenciados principalmente de acordo com, a matéria-prima processada, e o tipo de tecnologia adotada no processo de industrialização da cana. Na Tabela 5, será apresentado os resultados, da Produção de energia elétrica gerada do biogás (PEEB/ha), obtidos com a utilização dos cálculos da quantidade produzida de biogás e energia elétrica proposta por Lamo (1991), e aplicado por Granato (2003), para os limites, superior e inferior, considerando dados da literatura. Esta tabela servirá de base de cálculo para posterior determinação da Energia elétrica gerada pela vinhaça ( EEGV), considerando 100, 75 e 50 % da área plantada destinada à produção de álcool, nas usinas mato-grossenses.

Tabela 5 - Determinação da produção de energia elétrica gerada do biogás por hectare destinada a produção de álcool no Mato Grosso.

Informação	Limite Superior	Limite Inferior
CO (kgDQO/ha)	4.419.360.000,00	1.118.900.000,00
QA (l/ha)	6.138,00	4.475,60
QV (l)	18,00	10,00
VVG (litros)	110.484,00	44.756,00
PROD (ton/ha)	68,20	66,80
PAQCP (l/ton)	90,00	67,00
PB (N.m <sup>3</sup> /ha)	1.392.098.400,00	352.453.500,00
GEB (Kcal/ha)	7.099.701.840.000,00	1.797.512.850.000,00
PEEB (Kcal/ha)	2.484.895.644.000,00	629.129.497.500,00

Onde: Co: carga orgânica; QA: Quantidade de álcool produzida; VVG: Volume de vinhaça Gerado; PROD: produtividade da cana-de-açúcar; PAQCP: Produção de álcool por quantidade de cana processada; PB: Produção de Biogás; GEB: Quantidade de energia do Biogás; PEEB: Produção de energia elétrica gerada do Biogás. Fonte: Lamo (1991); Cálculos realizados pelo Autor.

De acordo com as informações obtidas das usinas, pode-se verificar que as mesorregiões Sudoeste e Norte do estado representam mais de 70% da área total plantada com cana-de-açúcar no Mato Grosso. Contudo é apresentado a seguir na Figura 3 (SICME, 2009), o mapa do Estado de Mato Grosso dividido por mesorregiões.



Figura 3 - : Mesorregiões do Estado de Mato Grosso. Fonte: Secretaria de indústria, comércio, minas e energia (SICME) do Estado de Mato Grosso (2009).

A relação das usinas produtoras de álcool em atividade que compõe as Mesorregiões Sudoeste e Norte fornecida pelo (SINDALCOOL/MT 2009), são: Destilaria Novo Milênio I – Lambari D’oeste, Destilaria Novo Milênio II – Lambari D’oeste, Coprodia – Cooperativa agrícola produtora de cana de Campo Novo dos Parecis, Destilaria Araguaia – Confresa, Usinas Itamarati S/A – Nova Olímpia, Destilaria de álcool Libra Ltda – São José do Rio Claro, Usina Pantanal de álcool e açúcar Ltda – Jaciara, Usina Jaciara – Jaciara, Usimat



destilaria de álcool Ltda – Campos de Júlio, Usina Barralcool S/A – Barra do Bugres e Breco Companhia brasileira de energia renovável – Auto Taquari.

Na Tabela 6, será apresentado o EEGV considerando 100, 75 e 50 % da área plantada destinada a produção de álcool, nas usinas das mesorregiões Sudoeste e Norte, utilizando para os cálculos a metodologia proposta por Lamo (1991), e aplicada por Granato (2003).

Tabela 6 - Energia Elétrica gerada pela vinhaça (EEGV) em kWh, considerando diferentes percentuais da área total plantada utilizados na produção de álcool.

		100%		75%		50%		
Mesorregião	Usinas	Área plantada (hectares)	Limite superior (x10 <sup>12</sup> )	Limite inferior (x10 <sup>12</sup> )	Limite superior (x10 <sup>12</sup> )	Limite inferior (x10 <sup>12</sup> )	Limite superior (x10 <sup>12</sup> )	Limite Inferior (x10 <sup>12</sup> )
Sudoeste	Novo Milênio I	12.186,87*	35.23	8.97	26.41	6.687	17.60	4.46
	Novo Milênio II	5.725,90**	16.55	4.19	12.41	3.14	8.27	2.09
	Barralcool S/A	34.419,24 <sup>-</sup>	99.47	25.18	74.60	18.89	49.73	12.59
	Itamarati S/A	74.880 <sup>+</sup>	216.40	54.79	162.30	41.09	108.20	27.39
Norte	Libra	16.823 <sup>++</sup>	48.68	12.31	36.46	9.23	24.31	6.15
	Coprodia	23.000 <sup>-</sup>	66.47	16.83	49.85	12.62	33.23	8.41
	Usimat	8.500 <sup>o</sup>	24.57	6.23	18.42	4.66	12.28	3.11
	Total	175.535	507.28	128,43	380.46	96.33	253.64	64.21

Fonte: (\*)Rodrigues (2009); (\*\*)Nociti (2009); (-) Galera (2009); (+) Capriolli (2009); (++)Ticianel (2009);(-) Timoteo (2009); (°) Nogueira (2009); Cálculos realizados pelo autor.

Na Tabela 6, observa-se o grande potencial energético das usinas que compõe as mesorregiões Sudoeste e Norte, destacando-se entre elas a usina Itamarati S/A. Além deste potencial energético, a vinhaça após sofrer a biodigestão anaeróbica para produção do biogás, encontra-se como um produto melhor estruturado em questões ambientais, não perdendo suas características como fertilizante, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 - Características físico-químicas da vinhaça

Parâmetro	Vinhaça “in natura”	Efluente após a biodigestão
pH	3,7 a 4,9	6,8 a 7,5
DQO (mg/l)	25.000	3.750
DBO (mg/l)	14.000	1.3000
N total (mg/l)	400	95
MgO (mg/l)	93	83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	58	54
CaO (mg/l)	174	171
K <sub>2</sub> O (mg/l)	2.000	1800

Fonte: Freire e Cortez (2000).

#### 4. Considerações Finais

Diante da vasta quantidade de informações encontradas na literatura especializada, foi possível calcular a potencialidade de geração de energia elétrica produzida a partir da utilização da vinhaça em diferentes limites, apresentando assim um cenário bem abrangente, além destes a utilização de inúmeras considerações, mesmo que científicas, permitirá que com o avanço da tecnologia este potencial seja ainda maior. A biodigestão anaeróbica da vinhaça utilizando o reator UASB, apresenta elevado potencial para geração de energia elétrica, conforme foi demonstrado ao longo da realização deste trabalho, além disso, permite continuar sua utilização posterior na fertirrigação, mas com características menos nocivas ao



meio ambiente. Contudo que foi exposto comprava-se o potencial da biodigestão anaeróbica da vinhaça para produção de biogás e consequentemente a geração de energia elétrica.

#### Referências

- ALISKI, A. *Brasil terá colheita recorde de cana-de-açúcar em 2009*. Disponível em: <[http://www.pastoraldomigrante.com.br/index.php?view=article&id=750:brasil-tera-colheita-recorde-de-cana-de-acucar-em-2009-&option=com\\_content&Itemid=54](http://www.pastoraldomigrante.com.br/index.php?view=article&id=750:brasil-tera-colheita-recorde-de-cana-de-acucar-em-2009-&option=com_content&Itemid=54)> Acesso em 22 abril 2010.
- ANDREOLI, C; SOUZA, S.P. *Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para Conversão da energia solar e fóssil em etanol*. Economia & Energia, n 59, Londrina, 2006.
- APTA. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. *Vinhaça*. Jaboticabal, 2007. Disponível em: <[http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Termo\\_de\\_Referencia\\_Vinhaca.pdf](http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Termo_de_Referencia_Vinhaca.pdf)> Acesso em 10 Nov. de 2008.
- BARROS, R.P. *Estudo dos Efeitos da Aplicação da Vinhaça na Qualidade de Solos em Cultivos de Cana-De-Açúcar (Saccharum Officinarum L.), E o Uso de Indicadores no Sistema de Produção*. 2008. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/articles/5211/1/estudo-dos-efeitos-da-aplicacao-da-vinhaca-na-qualidade-de-solos-em-cultivos-de-cana-de-acucar-saccharum-officinarum-l-e-o-uso-de-indicadores-no-sistema-de-producao/pagina1.html>> Acesso em 27 de Maio. 2008.
- BERTONCINI, E.I. *Aspectos ambientais da cadeia do etanol de cana-de-açúcar*. In: Workshop. 2008, Piracicaba. *Anais*. Piracicaba. Disponível em: <[http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/position\\_paper\\_paine14\\_bertoncini.pdf](http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/position_paper_paine14_bertoncini.pdf)>. Acesso em: 18 Nov. 2008.
- CAPRIOLLI, R. G. *Levantamento de dados*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[leandros19@yahoo.com.br](mailto:leandros19@yahoo.com.br)> em 16 de Jun. de 2009.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-açúcar Safra 2008/ Terceiro levantamento, dezembro/2008*. Brasília. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3cana\\_de\\_acucar.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3cana_de_acucar.pdf)> Acesso em 18 de Dez. 2008.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-açúcar Safra 2008/ Primeiro levantamento, Abril/2009*. Brasília. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1cana\\_de\\_acucar.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1cana_de_acucar.pdf)> Acesso em 10 de Maio. 2009.
- CORSINI, R. *Porque o álcool combustível é ecologicamente correto (2009)*. Disponível em: <[http://www.desmonte.com.br/equacao\\_verde.htm](http://www.desmonte.com.br/equacao_verde.htm)> Acesso em 27 de Maio. 2009.
- COSTA, D. F. *Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto*. 2006. Dissertação (tese de mestrado), Universidade de São Paulo, 2006.
- CPT. CENTRO DE PRODUÇÃO TÉCNICAS. *Construção e operação de biodigestores*. Viçosa, CPT 2003.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Tecnologia da Embrapa vira produto para cana-de-açúcar (2009)*. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2009/marco/3a-semana/tecnologia-da-embrapa-vira-produto-para-cana-de-acucar/>> Acesso em 27 de Maio. 2009.
- FELÍCIO, M. *Vinhaça, um grande benefício ao Canavial (2008)*. Disponível em: <[http://www.agrofit.com.br/portal/index.php?view=article&catid=47%3Acana&id=172%3Avinhaca-um-grande-beneficio-ao-canavial&option=com\\_content&Itemid=18](http://www.agrofit.com.br/portal/index.php?view=article&catid=47%3Acana&id=172%3Avinhaca-um-grande-beneficio-ao-canavial&option=com_content&Itemid=18)> Acesso em 27 de Maio. 2009.
- FIGUEIREDO, N.J.V. *Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás – estudo de caso (2007)*. Monografia de graduação, Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo 2007.
- FURASTÉ, P.A. *Normas técnicas para o trabalho científico: Elaboração e formatação. Explicação das Normas da ABNT*. – 14. Ed.- Porto Alegre 2008.
- FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. *Vinhaça de cana-de-açúcar*. Guaíba, Agropecuária, 2000.
- GALERA, W. F. *Levantamento de dados*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[leandros19@yahoo.com.br](mailto:leandros19@yahoo.com.br)> em 22 de Maio de 2009.
- GRANATO, E.F. *Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça (2003)*. Dissertação (Tese de mestrado), Universidade Estadual Paulista Bauru, 2003.
- LAKATOS, E.M.; MARCONI, A. *Metodologia do Trabalho Científico: procedimentos básicos, pesquisa*



bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalho científico. 4ed, São Paulo, 1992.

LAMO, P. *Sistema produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais – METHAX/BIOPAQ – CODISTIL – Piracicaba*, 1991.

LONGO, R.M. *Efeito da vinhaça in natura e biodigerida em propriedades de um solo cultivado com cana-de-açúcar*. Dissertação (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, 1994.

LUDOVICE, M.T.F. *Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático*. Dissertação (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, 1997.

LUZ, P.H.C. *Novas tecnologias no uso da vinhaça e alguns aspectos legais (2005)*. Disponível em: <[www.ipni.netppiwebpbrazil.nsf926048f0196c9d4285256983005c64de6d4452a7dc2e1483032570d8003f1509\\$FILEAnais%20Pedro%20Henrique%20de%20C%20Luz.pdf](http://www.ipni.netppiwebpbrazil.nsf926048f0196c9d4285256983005c64de6d4452a7dc2e1483032570d8003f1509$FILEAnais%20Pedro%20Henrique%20de%20C%20Luz.pdf)>. Acesso em: 18 de Nov. 2008.

MARQUES, E. *O solo fértil da cana-de-açúcar (2007)*. Disponível em :<<http://www.portaldogronegocio.com.br/conteudo.php?id=23558>> Acesso em 18 de Maio 2009.

MAPA–MINISTÉRIO D A AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO . *Resíduos da produção de cana (2008)*. Brasília. Disponível em :<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01\\_108\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html)> Acesso em 30 de out. de 2008.

MORAES, M.A.F.D.; SHIKIDA, P.F.A. *Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios*. São Paulo, 2002.

NOCITI, B. J. *Levantamento de dados*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[leandros19@yahoo.com.br](mailto:leandros19@yahoo.com.br)> em 29 de Maio de 2009.

NOGUEIRA, V. *Levantamento de dados*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[leandros19@yahoo.com.br](mailto:leandros19@yahoo.com.br)> em 30 de Maio de 2009.

PERES, C.S. *Tratamento da Vinhaça: Biodigestão Anaeróbia*. Jaboticabal, 2007. Disponível em: <[http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Position\\_Paper\\_sessao5\\_clarita.pdf](http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Position_Paper_sessao5_clarita.pdf)>. Acesso em 03 de Dez. de 2008.

RODRIGUES, J. L. *Levantamento de dados*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[leandros19@yahoo.com.br](mailto:leandros19@yahoo.com.br)> em 05 de Maio de 2009.

ROSSETTO, A.J. *Efeito da Aplicação Prolongada da Vinhaça nas Propriedades Químicas dos Solos com Cana-de-Açúcar*. Araras, 1983.

SALOMON, K.R. *Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade (2007)*. Dissertação (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SICME. SECRETARIA DE INDUSTRIA, COMÉRCIO, MINAS E ENERGIA DO ESTADO DE MATO GROSSO. *Balço energético de Mato Grosso e Mesorregiões (2009)*. Disponível em: <<http://www.sicme.mt.gov.br/html/internas.php?tabela=pginas&codigoPagina=52>> Acesso em 29 de Maio de 2009.

SIMÕES, C. L.N; SENA, M.E.R; CAMPOS, R. C. *Estudo da viabilidade econômica da concentração de vinhoto através de osmose inversa*. Florianópolis, Santa Catarina, 2004. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004\\_Enegep1004\\_1360.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep1004_1360.pdf)> Acesso em 18 de Jan. de 2009.

SINDALCOOL/MT. Sindicato da Indústrias Sucroalcooleiras do Estado de Mato Grosso, 2009.

SOUZA, S.A.V. Uso de fertilizantes. In: MACEDO. I. C. (Org). *A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade*. São Paulo, 2005.

TICIANEL, J.L.A. *Levantamento de dados*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[leandros19@yahoo.com.br](mailto:leandros19@yahoo.com.br)> em 25 de Maio de 2009.

TIMOTEO,L. *Levantamento de dados*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[leandros19@yahoo.com.br](mailto:leandros19@yahoo.com.br)> em 29 de Maio de 2009.

VITTI, G.C. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar*. Bebedouro, 2005. Disponível em <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti\\_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6za.md.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6za.md.pdf)> Acesso em 18 de Maio 2009.