

# GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO RESÍDUO VINHAÇA

Eng. Eder Fonzar Granato e Prof. Dr. Celso Luiz Silva

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial - UNESP - Universidade Estadual Paulista – Bauru - S. P.  
[efonzar@uol.com.br](mailto:efonzar@uol.com.br)

## RESUMO

A produção de álcool no Brasil é fato marcante atualmente, pois além da frota veicular movida a álcool hidratado, existe também o consumo do álcool anidro no mercado interno e externo. Já na década de 30 durante o governo de Getúlio Vargas, foi oficializado o primeiro ato de intervenção do Estado na economia açucareira, em 20 de fevereiro de 1931, pelo Decreto n. ° 19.117, o qual instituiu a adição obrigatória de 5% na gasolina importada, visando o auxílio na superação da crise que o açúcar passava devido ao aumento da oferta no mercado segundo Pinto (1999). Após este Decreto, surgiram outros vários, estimulando o crescimento agro-industrial através de incentivos para o setor e o estímulo da fabricação do motor a álcool, culminando com a institucionalização do proálcool na década de 70, mais precisamente em 14 de novembro de 1975. Neste trabalho apresenta-se como principal preocupação a utilização racional da vinhaça produzida nas indústrias sulcro-alcooleiras, embora as mesmas já venham recebendo o nome de subproduto ao invés de resíduo industrial, devido a inúmeras utilizações que a mesma possa ser direcionada, podendo produzir energia elétrica alternativa, sem causar danos ao meio ambiente. A vinhaça, até então se mostra como o grande vilão dos resíduos industriais no setor sucro-alcooleira, pois se sabe que para litro de álcool produzido são gerados de 10 a 14 litros de vinhaça (Lamo,1991), assim sendo, se o Brasil produz em torno de dezesseis bilhões de litros de álcool/ano, a vinhaça gerada gira em torno de cento e setenta bilhões de litros, sendo um volume bastante preocupante. É sabido também que devido ao seu teor de nutrientes a vinhaça é utilizada para fertirrigação. Não obstante, em se tratando de uma “indústria de produto energético”, a possibilidade de se converter a matéria orgânica do vinhoto em metano, não deve ser desprezada; tal prática além de minimizar os eventuais riscos com acidentes durante manuseio do vinhoto, facilita sua aplicação na lavoura, na medida que neutraliza o pH do efluente, segundo Viana (1988).

## ABSTRACT

The production of alcohol in Brazil is now important fact, because besides the vehicular fleet moved to moisturized alcohol, it also exists the consumption of the alcohol andiron in the internal and external market. Already in the decade of 30 during Getúlio Vargas's government, the first act of intervention of the State was made official in the sugar economy, on February 20, 1931, for the Ordinance n. ° 19.117, which instituted the obligatory addition of 5% in the imported gasoline, seeking the aid in the surpass of the crisis that the sugar passed due to the increase of the offer in the market second Pinto (1999). After this Ordinance, other several ones appeared, stimulating the agriculture-industrial growth through incentives for the section and the incentive of the production of the motor to alcohol, culminating in fact with the institutionalization of the Alcohol Program in Residues in the section of Brazilian production an Sugar and Alcohol, because we know that for each liter of produced alcohol they are generated of 10 to 14 liters of Vinasse, like this being, if Brazil produces around 16 billion liters of alcohol a year, the Vinasse generated a year it is around 170 billion liters, quite preoccupying volume.

## INTRODUÇÃO

Pode-se notar a grande evolução do setor alcooleiro no Brasil pelos dados da Tab. 02, onde demonstra a produção do álcool (anidro + hidratado) de 1975 até 1997.

Sabe-se que para cada litro de álcool produzido são gerados de 10 a 14 litros de vinhaça, sendo este um resíduo altamente poluente e problemático para tratamento. O objetivo deste trabalho é propor a utilização racional da vinhaça gerada numa destilaria de médio / grande porte, que produz em média 600.000 litros de álcool por dia, e que conseqüentemente gera em torno de 6.000.000 litros de vinhaça/dia. Torna-se obrigatória à

consideração de fatores ecológicos, distribuição geográfica, disponibilidade de equipamentos e a capacidade de geração e consumo de energia alternativa pela Biodigestão Anaeróbica da vinhaça produzida.

Vários tipos de processos são citados para o tratamento e/ou aproveitamento do vinhoto, sendo que o mais indicado até hoje é a utilização deste afluyente na lavoura, sendo que nenhuma tecnologia se adequou à escala do problema enfrentado no Brasil, assim sendo, após a biodigestão anaeróbica da mesma, objetivando a produção de energia alternativa, continua sendo recomendada a prática da fertirrigação.

Logo numa razão de 21 milhões de toneladas de cana de açúcar processado por ano no Brasil, utilizando-se o processo de biodigestão anaeróbica, tem-se um ganho de 1410 milhõesx10<sup>3</sup> kcal de energia alternativa gerada.

Lamo (1991), demonstrou o potencial energético de uma tonelada de cana pela Tab. 01. Observa-se que uma tonelada de cana pode gerar 909,90x10<sup>3</sup> kcal de energia (álcool + biogás), porém caso não se aproveite o biogás resultante da biodigestão da vinhaça deixa-se de recuperar 7,5% do total de energia disponível em uma tonelada de cana. Através dos resultados obtidos e publicados pela Copersucar (1979), obtém-se que dos resíduos da fabricação do álcool, a vinhaça é sem dúvida, o mais importante, não só em termos de volume gerado, mas também em potencial poluidor. Sua eliminação vem se apresentando como um grande problema desde o início da fabricação do álcool no Brasil. Inúmeros problemas ecológicos, sociais, políticos e econômicos gerados pela eliminação da vinhaça em leitos d'água estão registrados em literaturas que listam as disputas que envolvem usineiros e população. Tal prática é vetada por dispositivos legais desde 1934, por diversos artigos do Código Penal Brasileiro, Leis Estaduais e Portarias. Já a partir de novembro de 1978, após o proálcool estar implantado o Ministério do Interior publicou a Portaria n. ° 323 proibindo terminantemente o lançamento direto e indireto de vinhaça em qualquer coleção hídrica pelas destilarias, obrigando as indústrias a apresentarem projetos para a implantação de sistemas e/ou utilização da vinhaça. Inúmeras alternativas para utilização da vinhaça foram propostas, tais como: concentração do resíduo, fertirrigação, ração animal, fabricação de tijolos, vinhodutos marítimos e geração de biogás através da Digestão Anaeróbica.

Obtenção /tonelada de cana	Valor energético (kcal)	%
250 kg de bagaço	450 x 10 <sup>3</sup>	49,5
70 litros de álcool	392 x 10 <sup>3</sup>	43,0
11,83 m <sup>3</sup> de biogás	67 x 10 <sup>3</sup>	7,5
Energia Total	909 x 10 <sup>3</sup>	100,0

Fonte:Lamo(1991)

A possibilidade de tratar a vinhaça por biodigestão anaeróbica só começou a se tornar atraente a partir do desenvolvimento de reatores de alta performance, onde os tempos de retenção hidráulica são bastantes reduzidos. Os resultados obtidos na utilização em escala industrial desses reatores na Holanda, em particular o UASB, confirmaram essa expectativa..

No Brasil foi formada em 1980, por iniciativa da IBRASA, uma subsidiária do BNDE (atualmente BNDES), - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico - um grupo para investigar o assunto. Desse grupo participaram originalmente consultores privados, o IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - e uma empresa produtora de álcool, a Destilaria PAISA, de Alagoas.

Foi instalada uma unidade piloto de onze m<sup>3</sup> de volume da Destilaria PAISA, que começou a operar em janeiro de 1981.

Do grupo original permaneceram envolvidos no desenvolvimento da tecnologia, a Destilaria PAISA e o IPT. Com o objetivo de acelerar as investigações em diversos aspectos de processo e de engenharia, foram instalados, ainda, mais dois reatores tipo UASB de vinte e cinco m<sup>3</sup> e um filtro anaeróbico de seis m<sup>3</sup>. Na safra 1985/1986, foi finalmente, instalado um protótipo industrial de demonstração com quinhentos m<sup>3</sup> de volume.

Os resultados obtidos com os experimentos na PAISA estimularam uma ampla utilização da tecnologia, não apenas para o tratamento da vinhaça, mas também de outros efluentes industriais, minimizando assim os problemas enfrentados com a escassez de energia elétrica, altos custos de aquisição e dificuldades de acesso a mesma.

Tabela 01: Balanço energético de uma ton de cana

Tabela 02: Evolução da produção de álcool anidro e hidratado no Brasil (1975 até 1997).

ANO	ANIDRO	HIDRATADO	TOTAL
75-85	30%	38,9%	35,8%
85-87	4,7%	1,0%	2,2%
85-93	-3,0%	0,2%	-0,6%
93-97	22,0%	2,6%	7,9%
90-97	23,1%	-1,1%	3,8%

Fonte: Lamo (1991)

Dentre as várias alternativas vamos discorrer sobre a geração de energia elétrica alternativa através da queima do biogás gerado pela vinhaça em uma turbina a gás.

O vinhoto é um resíduo orgânico resultante do processo de destilação do mosto para produção de álcool. Para cada litro de álcool produzido tem-se de 10 a 14 litros de vinhoto. O não aproveitamento desse efluente, e a prática de descarregá-lo sem tratamento prévio em rios, era até alguns anos atrás, o maior problema ambiental dentro dessa atividade agro-industrial (Xavier, 1970).

A seqüência básica na produção do álcool onde se obtém a vinhaça é:

- 1 - Recebimento e moagem da cana.
- 2 - Tratamento e fermentação do caldo (garapa).
- 3 - Destilação (produção de álcool e vinhaça).

Por constituir-se em matéria rica em nitrogênio, e em especial em potássio, o vinhoto vem sendo recentemente empregado como fertilizante nas próprias lavouras de cana, sendo este processo denominado fertirrigação. Além da economia de fertilizantes comerciais, a fertirrigação traz benefícios hídricos, melhorando a produtividade agrícola. Mas é também sabido que pode se produzir biogás através da biodigestão da vinhaça em biodigestores anaeróbicos, e que pela sua queima pode-se acionar turbinas a gás, gerando energia elétrica.

Com a escassez de energia elétrica que ocorre atualmente no país, as destilarias podem gerar sua própria demanda e até produzir excessos que poderiam ser repassados a concessionárias. Na indústria sucro-alcooleira o biogás gerado pode ser aproveitado da seguinte forma:

- a) Sendo sua totalidade queimada na caldeira, gerando vapor e, por conseguinte acionando todo o mecanismo que executa a moagem da cana. Neste caso estudos mostram que existirá uma sobra de 25% a 28% de todo bagaço que atualmente é queimado nas caldeiras que será destinado a outros fins;

- b) Uma terça parte do biogás poderá ser purificado, produzindo gás metano para substituir todos os combustíveis utilizados na agroindústria, durante a safra e os dois terços restantes seriam queimados nas caldeiras proporcionando uma sobra de 18% de bagaço;
- c) A totalidade do biogás poderá acionar uma turbina a gás, conjugada a um gerador elétrico, produzindo 2,5 vezes a necessidade total da energia elétrica de uma destilaria autônoma, aonde os acionamentos dos equipamentos de Segundo Motta (1986), atualmente, a digestão anaeróbica de resíduos poluentes vêm sendo largamente utilizada e despertando grande interesse, independente do tipo de efluente, seja industrial ou doméstico. O processo anaeróbico comparado com o aeróbico resolve o problema de rejeitos de uma maneira mais abrangente, podendo-se citar: produção de energia ao invés de consumo, menor volume de lodo, não exige localização e nem escala específica para ser aplicado, baixo custo de instalação e pode ser combinado com processos de pós-tratamento do efluente para a recuperação de produtos úteis como amônia e enxofre.

## DIGESTORES ANAERÓBICOS

A constituição básica de um digestor é a câmara de fermentação, onde ocorre a biodigestão da matéria orgânica, uma campânula que armazena o gás produzido, ou se permite à saída deste gás, a entrada do substrato a ser fermentado e a saída para o efluente produzido pelo processo. Trata-se de uma tecnologia simples, onde a principal preocupação é a manutenção das propriedades fermentativas da biomassa bacteriana. São muitos os modelos de biodigestores, alguns com importantes detalhes construtivos, que dependem do tipo de aplicação

a que são destinados e, também, do nível tecnológico disponível. Na construção do biodigestor eficiente com alta produtividade, deve-se atender basicamente a três requisitos: o saneamento, o atendimento de uma demanda energética e a utilização do material biodegradado como fertilizante.

Segundo Pinto (1999), classifica-se os digestores quanto ao tipo de construção, modo de operação, forma de armazenamento do gás, fluxo das substâncias em fermentação, temperatura de operação, com ou sem agitação e com ou sem dispositivos para agregar a biomassa bacteriana.

O processo de biodigestão, se conduzido em reatores convencionais, é relativamente lento, com tempos de retenção hidráulica do resíduo dentro do reator de vários dias, ou mesmo semanas, para se completar o processo. Este era, sem dúvida, o principal obstáculo técnico para uma eventual aplicação do processo de digestão anaeróbica para a vinhaça, que segundo Souza (1992), pode ser superado na utilização do biodigestor de alta eficiência, os chamados UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor), onde se mantém elevada concentração de microorganismos no interior do reator, através da recirculação externa ou retenção interna dos microorganismos.

Souza (1992), cita o critério utilizado para controle e operação de um biodigestor como sendo a estimativa da produção potencial de biogás a partir de um resíduo avaliado pelos fatores:

- a) A produção de CH<sub>4</sub>, num estado constante, é proporcional a quantidade de DQO consumida no reator (01 grama de DQO consumida corresponde à produção de 0,35 litros de CH<sub>4</sub>; a temperatura e pressão normais);
- b) Uma parte do biogás produzido é dissolvido e perdido no efluente;
- c) Parte da DQO é transformada em biomassa.

## **BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DA VINHAÇA**

Segundo Lamo (1991), é proposto um esquema básico da biodigestão anaeróbica da vinhaça, mostrando todos os pontos principais que a efluente vinhaça deve passar para a obtenção de um biogás de boa qualidade, sem que os nutrientes da vinhaça sejam retirados deste efluente, propiciando a reposição ao solo de parte da matéria orgânica absorvida do mesmo pela gramínea cana-de-açúcar. Os componentes deste esquema são: trocador de calor, efluente, nutrientes e alcalis, água do

trocador de calor, reator anaeróbico, tanque de adequação, biogás e gasômetro.

## **BIOGÁS**

É o gás obtido em biodigestores anaeróbicos, que resultam da conversão da biomassa em energia, pelo processo de biodigestão anaeróbica de resíduos (agroindustriais, domésticos, etc.). Sua composição básica é CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e H<sub>2</sub>S. O processo de produção do biogás se inicia com o efluente a ser tratado distribuindo-se uniformemente na base do reator, passando pela camada de lodo, transformando a matéria orgânica em biogás. Na prática através da vinhaça, obtemos 0,30 litros de CH<sub>4</sub>/gDQO consumida, sendo que a proporção de CH<sub>4</sub> no biogás é 55% a 65% (sendo o restante CO<sub>2</sub>). Conforme o fluxo básico para produção do biogás através da biodigestão anaeróbica. Como o Biogás apresenta alguns contaminantes imediatamente após a sua produção, é necessário que seja feita uma depuração do mesmo utilizando filtros, compressores, resfriadores, bombas e outros equipamentos.

## **VINHAÇA**

A vinhaça é o efluente gerado pelas destilarias ao se efetuar a separação do etanol do mosto fermentado. A natureza do mosto empregado, além de outros fatores, determinará as características da vinhaça, conforme pode ser observado para vinhaças resultantes do processamento de cana-de-açúcar. O aumento programado da produção de etanol ampliará consideravelmente o volume de vinhaça, tornado premente o desenvolvimento de alternativas de disposição e aproveitamento desse efluente. Deve-se inicialmente considerar que a elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) da vinhaça, que supera freqüentemente 20000 mg/l, torna-a altamente polidora. Seu lançamento indiscriminado aos rios e corpos d'água pode poluir as reservas hídricas e, portanto causar sérios danos à biodiversidade e ecossistemas destes meios. Segundo Lamo (1983), a vinhaça gerada por uma destilaria de 120 m<sup>3</sup> de álcool por dia, por exemplo, representa o efeito poluidor dos esgotos domésticos de uma cidade com uma população equivalente de cerca de 270 mil habitantes.

Por outro lado, a vinhaça é um resíduo que pode ser utilizado para: produção de ração, recuperação do potássio nela existente em teores razoáveis, fertirrigação

da cana-de-açúcar, adubação da cana-de-açúcar após concentração, produção de proteína unicelular e reciclagem para diluição do melaço em destilarias anexas. Dessa forma diversos processos podem ser empregados para simples tratamento ou para aproveitamento da vinhaça. Quanto a digestão anaeróbica proposta no trabalho, que se enquadra perfeitamente nos processos de tratamento, pela elevada redução de DBO alcançada, quanto nos processos de aproveitamento devido à produção de energia na forma de biogás. Sendo que os resultados alcançados experimentalmente indicam vantagens da digestão anaeróbica, e que este processo poderá ter um papel relevante na solução do problema de disposição e aproveitamento deste resíduo (Lamo, 1983).

As vinhaças de melaço de cana e mistas apresentam concentrações de sulfato elevadas.

O sulfeto produzido pelas bactérias redutoras de sulfato pode atingir concentrações superiores a 200 mg/l, trazendo sérios problemas de inibição das bactérias metanogênicas.

Também o potássio existente em grandes concentrações na vinhaça de melaço, em especial, pode causar algum nível de inibição ao processo.

Excetuando as observações acima, a vinhaça, apesar de seu baixo pH, é um substrato de fácil biodegradação anaeróbia. Apresenta a vantagem de que a matéria orgânica nela presente está na maior parte solubilizada, visto que os sólidos suspensos correspondem a menos que 10% dos sólidos totais.

Após a biodigestão, segundo Lamo (1983), considerando os teores de N/P/K da vinhaça, a mesma pode ser utilizada para a fertirrigação em vez da vinhaça "in natura", com a vantagem de mais fácil manuseio devido ao seu pH neutro.

## **METODOLOGIA**

Para representação do aproveitamento do biogás para geração de energia alternativa Lamo (1981) demonstra um esquema básico de uma estação composta de um biodigestor anaeróbico para vinhaça (UASB) e a estação de geração propriamente dita, formada por compressor, câmara de combustão, turbina a gás e gerador de energia elétrica.

Foi proposto um estudo para uma destilaria que produz 600 m<sup>3</sup> de álcool/dia, gerando em torno de 6 milhões de litros de vinhaça/dia.

Consideraram-se fatores geográficos, climáticos, operacionais e ambientais, obtidos na literatura.

## **RESULTADOS E ANÁLISES**

No Brasil produz-se 16 milhões m<sup>3</sup>/ano de álcool e conseqüentemente 160 milhões m<sup>3</sup>/ano de vinhaça com potencial teórico de gerar 30 bilhões m<sup>3</sup>/ano de biogás, através da biodigestão anaeróbica, não prejudicando o potencial nutricional do efluente vinhaça como fertilizante.

A destilaria em estudo tem capacidade para produzir 600.000 litros/dia de álcool, como resultado da biodigestão da vinhaça gerada obtém-se 75.600 Nm<sup>3</sup>/dia de biogás. Considerando uma eficiência na turbina à gás de 35%, obtém-se 6.540 kw/hora de energia elétrica alternativa.

Esta produção de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça representa 30% da necessidade média de energia elétrica desta destilaria, logo poderá obter-se em torno de uma redução de consumo tanto de concessionárias quanto de energia gerada pela queima do bagaço de aproximadamente 200.000 kWh/mês.

## **CONCLUSÃO**

Além de ser criada uma fonte de energia alternativa, a queima do biogás é muito vantajosa em relação a queima dos combustíveis fósseis, pois neste caso, são liberadas taxas consideráveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sendo que na queima do biogás, estas taxas de CO<sub>2</sub>, liberadas são equilibradas pela fotossíntese realizada pela cultura canavieira.

Segundo Souza (1992), através das estimativas do potencial brasileiro de produção de biogás e a partir do processamento do álcool de cana de açúcar, nota-se a importância relativa que o biogás pode ocupar na matriz energética nacional. Os dados indicam também a grande competitividade com vários energéticos, particularmente os de origem fóssil, cujas importações têm um peso relativo considerável na balança comercial brasileira.

Lembrando-se, ainda que a queima de combustível fóssil provoca grave impacto ao meio ambiente e que o tratamento da vinhaça reduz sua carga orgânica poluente e produz um energético competitivo com esses combustíveis, conclui-se que se trata de uma alternativa viável e duplamente benéfica ao meio ambiente.

## **PALAVRAS CHAVES**

Biodigestores, digestão anaeróbica, biomassa, resíduo orgânico, destilaria anexa.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de registrar a dedicação do Dr. Paulo de Lamo, Diretor da CODISTIL – Piracicaba S.P. – e toda sua equipe que contribuíram de maneira marcante para o desenvolvimento destes trabalhos.

Agradecemos também a colaboração de Adilson José Rosseto, José Myasaki e a participação especial de meu orientador do mestrado Prof. Dr. Celso Luiz Silva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COPERSUCAR. **Aproveitamento da Vinhaça Viabilidade Técnico-Econômica**. Centro de Tecnologia da Cooperativa Central dos Prod. De Açúcar e Álcool do Est. S.P., Piracicaba, 1979.
- [2] LAMO, PAULO DE. **Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais** - METHAX/BIOPAQ - CODISTIL - Piracicaba, 1991.
- [3] MOTTA, F.S. **Produza Sua Energia: Biodigestores Anaeróbicos**. Gráfica Editora, Recife, 1986.
- [4] NOGUERIA, L.A.H.. **Biodigestão: a Alternativa Energética**. Editora Nobel, São Paulo, 1986.
- [5] PINTO, CLÁUDIO PLAZA. **Tecnologia da Digestão Anaeróbica da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável**, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, 1999.
- [6] SOUZA, M. E., FUZARO, G. & POLEGATO, A. R. **Thermopile Anaerobic Digestion of Vinasse in Pilot Plant UASB Reactor**. Water Science and Technology, vol. 25 n.º 7, p.p. 212-223, 1992.
- [7] XAVIER, S. **Álcool como Carburantes Razões da sua Utilização**. Brasil Açucareiro, Vol. 76 n.º 5, p. 16-20, nov/1970.
- [8] VIANA, C. ELOI, **Produção de Biogás a Partir de Vinhoto**, BRASIL – EUROPA – Seminário de energia de biomassa e resíduos – Belo Horizonte, 1988.