

# BIOGÁS NA CO-GERAÇÃO

**Eng. MSc. Luís Henrique Nobre Avellar**  
Pós-graduação em Engenharia Mecânica  
FEG/UNESP - Faculdade de Engenharia de  
Guaratinguetá Universidade Estadual Paulista  
lavellar@feg.unesp.br

**Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci**  
DEN - Departamento de Energia  
carrocci@feg.unesp.br

**Prof. Dr. José Luz Silveira**  
DEN - Departamento de Energia

A utilização de subprodutos agro-industriais na geração de energia em unidades co-geradoras

Foto cedida pelos autores

**N**a tentativa de reduzir os fortes riscos e ameaças de escassez de energia que, por ventura, podem até paralisar o país, têm-se buscado várias técnicas e métodos alternativos para geração de energia, como a utilização de subprodutos agro-industriais que, na atualidade, são descartados no meio ambiente.

Pretendemos mostrar que essas pesquisas, que estão em pleno desenvolvimento, de uma maneira geral ajudam na busca do desenvolvimento sustentável, utilizando como material energético os rejeitos agro-industriais, sendo uma alternativa de geração viável. Tal viabilidade pode ser constatada não só pelo fato da produção de energia, mas sobretudo pelo ponto de vista do meio ambiente.

## A Demanda por Energia

Nas últimas décadas o planeta tem demandado cada vez mais energia pronta para uso. Tal fato pode ser melhor caracterizado levando-se em consideração os pequenos casos diários que acontecem por causa da falta de energia elétrica e aos inúmeros transtornos na vida da população, principalmente nos os grandes centros populacionais.

Destaca-se o blecaute ocorrido na primeira semana de março de 1999, na América Latina, atingindo praticamente a metade territorial do Brasil, causando algumas horas de um verdadeiro caos em metrópoles como Porto Alegre, Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro.

Com o crescimento das demandas de energia no mundo e a considerável escassez de investimento no setor nos últimos anos, permite-nos a acreditar

que, a cada momento, o globo terrestre se encontra mais próximo de um colapso energético, que poderá afetar substancialmente o tripé Homem-Sociedade-Terra.

## Co-Geração

Entre os vários conceitos existentes para co-geração, acredita-se que aquele que melhor se adapta a este é: “co-geração trata-se da associação da geração simultânea combinada de dois ou mais tipos de energia utilizando um único tipo de fonte energética”.

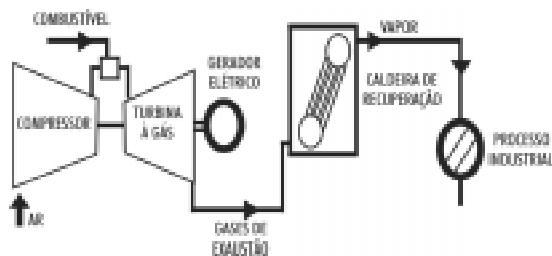
A seguir na Tabela 1, estão representados alguns dos principais conceitos, dados, curiosidades e fatos históricos sobre co-geração, Balestieri, 1997, como a descrição do inglês John Evelyn em 1685, sobre um sistema de elevação a partir de gases quentes (*smokejack*) instalado em sua residência há pelo menos cem anos.

Tabela 1: Principais fatos históricos da co-geração

|           |  |
|-----------|--|
| 1350      | Ilustrações alemãs sobre sistemas de elevação a partir de gases quentes ( <i>smokejaks</i> ).  |
| Século 14 | Introdução dos <i>smokejaks</i> , sendo basicamente uma “turbina” movida por ar quente que sobe por uma chaminé, na Europa a partir das ilustrações alemãs de 1350.  |
| Século 16 | Diversas referências sobre o emprego dos <i>smokejaks</i> na Alemanha e na Itália.   |
| 1685      | O inglês John Evelyn descreve um <i>smokejak</i> instalado em sua residência há mais de cem anos.  |
| 1758      | Benjamin Franklin sugeriu o uso de <i>smokejaks</i> para produzir energia no verão a partir da ventilação natural das chaminés.  |
| 1870      | Início do desenvolvimento moderno da co-geração, com máquinas a vapor de eixo alternativo acopladas a geradores elétricos em áreas urbanas de alta densidade populacional.                                 |
| 1909      | Nos Estados Unidos, existência até esta data de 150 sistemas de aquecimento de ambientes ( <i>district heating</i> ), muitos operados com baixa eficiência.  |
| 1920-1930 | Desenvolvimento de sistemas de aquecimento de ambientes, principalmente no Norte Europeu.  |
| 1970-1980 | Grande impulso à co-geração devido á crise do petróleo.  |
| 1978      | Publicação nos Estados Unidos do PURPA ( Public Utilities Regulatory Policy Act ). O PURPA abriu novos horizontes na medida em que introduziu a noção de competição em mercado aberto de energia elétrica. |
| 1990      | Início da co-geração no Brasil.  |
| 1993      | No Brasil, o Decreto 915 autorizando a formação de consórcios para geração de energia elétrica.  |

Em suma, sistemas de elevação a partir de gases quentes (*smokejack*) podem ser caracterizados a partir do momento em que gases quentes na chaminé passam por pás acopladas a um eixo, girando-os e acionando um conjunto elevatório.

A Figura 1, utilizada em nossos estudos, representa um exemplo típico de uma unidade co-geradora. Tal sistema pode ser caracterizado por funcionar com turbinas a gás, produzindo simultaneamente energia elétrica e vapor (energia térmica) para um processo industrial.



**Figura 1:** Unidade de co-geração com turbinas a gás

### A Produção de Biogás como Combustível Alternativo

Na atualidade, os diversos tipos e características dos subprodutos existentes têm, em alguns casos, se tornando um grande problema sócio-econômico-ambiental. Como já citado anteriormente, nossas pesquisas visam a utilização desses subprodutos agro-industriais, na forma de biogás, como combustível alternativo em unidades co-geradoras (Figura 2).

Permite-se destacar que muitos subprodutos, quer sejam sólidos, líquidos ou gasosos, podem ser utilizados com combustível, sem que para tal sejam previamente transformados em biogás.

Dentre os vários tipos de subprodutos agro-industriais existentes, se estuda, até o momento, somente aqueles provenientes de agro-indústrias de laticínios, como o lodo anaeróbio, o soro, a gordura, e uma massa pastosa (quase idêntica ao iogurte).

Nesta última década, destacou-se uma agro-indústria sulcro-alcooleira instalada no interior do Estado de São Paulo, utilizando uma unidade co-

geradora com queima de “paletes” de bagaço de cana (subproduto), de modo a suprir sua demanda energética.

Diferentemente da agro-indústria sulcro-alcooleira, optou-se, após uma extensa revisão bibliográfica, em transformar os subprodutos agro-industriais a serem estudados em biogás, para posteriormente queimá-los na unidade co-geradora. Assim, colocou-se tais subprodutos em um biodigestor anaeróbio do tipo indiano (Figura 2).

O processo industrial característico dos laticínios produz um rejeito primário que é colocado em um biodigestor industrial, gerando um lodo anaeróbio e um biogás primário. Esse biogás possui um poder calorífico médio de 5600 kcal/kg.

Nossa pesquisa está voltada para a utilização do lodo anaeróbio de forma a produzir um biogás secundário. Os estudos se defrontaram com a ausência de matéria orgânica suficiente para que as bactérias realizassem seu trabalho (transformando o lodo em biogás secundário e biofertilizante). Com vistas a sanar tal dificuldade adicionou-se esterco bovino fresco ao lodo



**Figura 2:** Biodigestor Piloto - Tipo Indiano - em funcionamento

anaeróbio.

A Figura 2 apresenta nosso biodigestor piloto, em escala laboratorial, com capacidade de 30 litros e altura máxima de 55 centímetros, em pleno funcionamento, produzindo biogás secundário e biofertilizante.

Sem deixar de lado a importância do biofertilizante para o meio agrícola, ressalta-se que o biogás produzi-

do possui 24,28% de  $CO_2$ ; 74,30% de  $CH_4$ ; 0,12% de  $O_2$ ; 1,30% de  $H_2$ , ocasionando um poder calorífico médio de 6200 kcal/kg.

Portanto, o biogás secundário, produzido a partir da mistura lodo anaeróbio com esterco bovino fresco, possui poder calorífico maior que o biogás primário. A tabela 2 mostra, a título de comparação, os valores de poder calorífico para outros tipos de combustíveis.

### Poluição do Biogás

Para algumas unidades co-geradoras, a poluição atmosférica passa a ser um fator de grande importância, uma vez que os gases e as cinzas resultantes da combustão podem poluir de modo significativo o meio ambiente.

Para diminuir, ou até evitar tal tipo de poluição, cada país, inclusive o Brasil, criou sua legislação ambiental, com órgãos fiscalizadores e valores limites. Tais limites podem variar quanto à localidade, região, estado e tipo de poluente.

No Brasil, os órgãos fiscalizadores estão aptos a monitorar, diagnosticar, aplicar multas e até a fechar o estabelecimento poluidor. Em nível nacional esta responsabilidade está a cargo do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, e para o estado de São Paulo a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

As principais formas de poluição atmosférica nocivas ao homem e ao meio ambiente são:

- Chuva Ácida: constituída pelo  $SO_2$ ,  $NO_x$  e  $HCl$ , age no meio ambiente sob a forma de chuva, neve ou névoa, causando a destruição de florestas, plantações, monumentos e contaminando as águas.

- Poluição Fotoquímica: popularmente conhecida como “smog”, é formada pelo  $NO_x$  e  $CFC$ 's e responsável pela degradação da vegetação.

- Efeito Estufa: produzido pela combinação de  $CFC$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  e poeiras, causa um aquecimento na baixa camada da atmosfera terrestre.

A Tabela 3, “Os Grandes Vilões da

Atmosfera”, Folha de São Paulo, 1998, apresenta algumas das principais substâncias nocivas ao homem e ao meio ambiente, assim como alguns de seus efeitos sobre a saúde humana e na degradação ambiental.

De modo a atender os limites de emissão de poluentes na atmosfera e mantê-los em níveis aceitáveis, normalmente faz-se uso de algumas tecnologias de controle e redução:

- Para o NOx: - a Redução Catalítica Seletiva (SCR, *Selective Catalytic Reduction*),
- a Redução Seletiva Não Catalítica (SNCR, *Selective Non-Catalytic Reduction*),
- o Combustor Seco de Baixo NOx (DLN, *Dry Low NOx*),
- a Injeção de Água ou Vapor (WI, *Water Injection*, or, SI, *Steam Injection*),
- a Recirculação dos Gases de Escape (FGR, *Flue Gas Recirculation*),
- Para o CO-CO<sub>2</sub>: - os Lavadores de Gases (*scrubbers*),
- Para o SOx: - os Lavadores de Gases (*scrubbers*),
- a Dessulfurização dos Gases de Escap

**TABELA 2: Tabela comparativa**

| entre combustíveis       | PCI Médio<br>[ kcal/kg ] |
|--------------------------|--------------------------|
| Nosso Biogás             | 6200                     |
| Biogás Primário          | 5600                     |
| Lenha                    | 3600                     |
| Álcool                   | 6700                     |
| Bagaço de Cana           | 3700                     |
| Carvão Vegetal           | 7000                     |
| GLP                      | 11900                    |
| Óleo Diesel              | 10900                    |
| Óleo Combustível 1A      | 10400                    |
| Nafta                    | 11000                    |
| Carvão Energético CE5200 | 5200                     |

pe (FGD, *Flue Gas Dessulfurization*),

- Para os Materiais Particulados: - a Câmara de Deposição Gravitacional,
- os Precipitadores Eletrostáticos,
- os Separadores Centrífugos e Úmidos.

Destacam-se ainda o Enriquecimento do Ar de Combustão, o Controle da Temperatura de Chama, a Mudança de Combustível para um outro alternativo. Existem também sistemas que permitem a modificação das características de alguns combustíveis antes destes serem usados, como a remoção do H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> do biogás, ocasionando uma redução na emissão de poluentes e um aumento em seu poder calorífico.

Maiores detalhes sobre tais tecnologias, bem como a legislação vigente e os diversos limites de emissão de poluentes tanto para o Brasil como para outros países podem ser encontrados em Avellar, 1997, dissertação de mestrado.

### Considerações Finais

Após destacar a importância e cuidados com os poluentes e as tecnologias utilizadas para seu controle, torna-se indispensável a análise de viabilidade sócio-econômica sobre a possibilidade do uso de biogás como combustível alternativo em unidades co-geradoras.

O Gráfico 1 apresenta um resultado, dos vários obtidos, de um estudo realizado por Avellar, 1997, e mostra a real e efetiva viabilidade de uso de um biogás característico, mesmo com a adoção de uma tecnologia para controle e redução da emissão de poluen-

**Tabela 3: Os Grandes Vilões da Atmosfera - FONTE: [ FOLHA DE SÃO PAULO, 1998 ]**

| Substância                 | Fonte   | Efeitos sobre a saúde   |
|----------------------------|---|---|
| Monóxido de Carbono (CO)   | Proveniente da queima de combustíveis, contribui para o aquecimento global.   | Fatal em grandes doses, agrava males cardíacos e pode afetar o sistema nervoso central, dificulta o transporte de oxigênio pelo sangue, ocasiona falhas de percepção, reflexos retardados e sonolência. Afeta a capacidade de trabalho e de exercício físico em indivíduo sadios. |
| Óxidos de Nitrogênio (NOx) | Proveniente da queima de combustíveis ajuda a provocar a chuva ácida e contribui, indiretamente, para o aquecimento global através da formação de ozônio.                         | Irrita o aparelho respiratório, reduz a função pulmonar (pode causar efisema) e aumenta os riscos de infecções virais. Nos pulmões, é precursor de substâncias cancerígenas. Transferido ao sangue, pode causar grave anemia.   |
| Ozônio (O <sub>3</sub> )   | Proveniente de reações químicas entre o oxigênio e dois outros poluentes (NOx e HC), facilitadas pela luz solar, causa danos à agricultura e contribui para o aquecimento global. | Irrita os olhos nariz e garganta, reduz as funções pulmonares, inibe o sistema imunológico, pode provocar náusea, dor de cabeça, fadiga e envelhecimento precoce da pele. Os riscos são maiores para asmáticos, crianças e pessoas que praticam exercícios pesados.               |
| Material Particulado       | Proveniente da queima incompleta de combustíveis, principalmente o diesel, ressuspensão de poeira.  | As partículas menores, inaláveis, atingem o pulmão, provocam alergia, asma e bronquite. Algumas são cancerígenas e provocam mutações genéticas. Reduz a função respiratória em crianças.  |

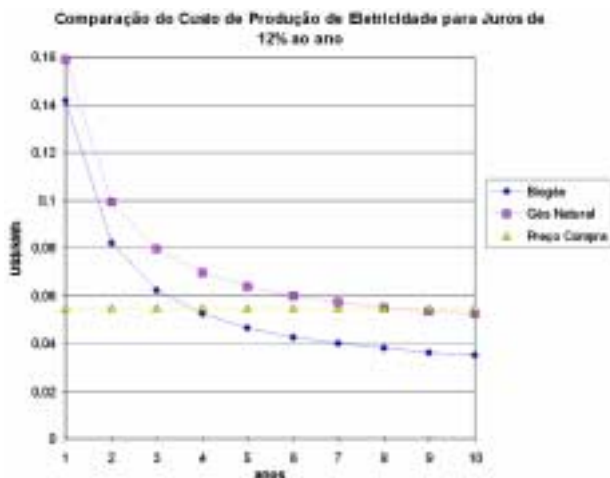
tes na atmosfera, em comparação com a utilização de um outro combustível alternativo, o gás natural, o qual não necessita de tais tecnologias de controle.

Este gráfico demonstra os resultados da comparação dos custos de produção de eletricidade para a taxa de juros de 12% ao ano; taxa que vigorava no início de 1997, época em que foi realizado tal estudo. No gráfico estão representados, pelo símbolo triangular ( $\Delta$ ), o preço de compra de eletricidade da concessionária (0,055 US\$/kWh, pelo símbolo quadrático ( $\square$ ) o custo de produção elétrico com o gás natural, e pelo símbolo losangular ( $\diamond$ ) o custo de produção elétrico com o biogás.

Sendo assim, obtêm-se que o custo de produção de eletricidade, usando-se o biogás, é continuamente mais barato do que para o gás natural, e ainda, que o custo de se produzir eletricidade é mais barato do que se comprar da concessionária a partir de 7,8 anos com gás natural e, a partir de 3,8 anos com o biogás mesmo com a utilização da tecnologia de dessulfurização dos gases de escape.

Pesquisas também estão sendo desenvolvidas para as pequenas e médias propriedades agrícolas ("soro", em fase inicial), principalmente para aquelas cujas localizações são de difícil acesso e não possuem condições básicas para a vida humana, nem meios para manter tecnologias de armazenamento e processamento de suas produções. Assim, para tais propriedades suprir suas demandas energéticas mínimas, somente para a manutenção da vida, utilizando para isto resíduos lançados no meio ambiente, seria uma vantagem considerável no contexto da redução da pobreza rural.

Para trabalhos futuros, sugere-se alguns estudos como para outros tipos de resíduos, que poderão ser usados como geradores de energia em propriedades rurais envolvendo uma mistura de tecnologias (co-geração, biogás, energia solar, etc.), para sistemas alternativos de secagem e armazenamento de produtos agrícolas; além de, por exemplo, estudos voltados para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de



**Gráfico 1:** Custo de Produção de Eletricidade em uma Unidade Cogeneradora

biodigestores para cada tipo de rejeito, visando a produção e qualidade do biogás.

Cabe ressaltar a efetiva importância do presente trabalho no contexto atual. Tal fato decorre, fundamentalmente, devido aos estudos que estão sendo realizados, no tocante ao aproveitamento dos resíduos agro-industriais com poder calorífico considerável lançados no meio ambiente, agregando, muitas vezes de forma avassaladora, boa parte da sociedade.

Como também a ajuda para a redução da pobreza rural, o uso sustentável dos recursos naturais renováveis, o combate à poluição e ao desperdício de energia, visando promover a sobrevivência da humanidade, com a proteção do meio ambiente, e o desenvolvimento sustentável em toda a sua plenitude.

## Referências

- Avellar, L.H.N., 1997, "A Influência dos Sistemas de Controle e Redução de Poluentes nos Custos da Cogeração", Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil, 1997.  
 - Avellar, L.H.N., Oliva, V.J., Silveira, J.L., Carrocci, L.R., 1997, "Sistemas de Controle e Redução de Emissões de Poluentes em Plantas de Cogeração", *Proceedings of the 3rd Latin-American Congress: Electricity, Generation and Transmission*, Vol.1, pp. 173-176, Campos do Jordão, São Paulo,

Brasil, 1997.

- Avellar, L.H.N., Carrocci, L.R., Silveira, J.L., Oliva, V.J., 1999, "Agriculture-Industrial Residues X Natural Gas - An Economic Analysis", *Proceedings of the 2nd Olle Lindström Symposium on Renewable Energy - Bioenergy*, Royal Institute of Technology, pp. 190-196, Estocolmo, Suécia, 09-11 de junho de 1999.

- Balestieri, J.A.P., 1997, "A Cogeração no Contexto do Desenvolvimento Sustentável", *Proceedings do Seminário Ciência e Desenvolvimento Sustentável*, Universidade de São Paulo, pp. 255-274, São Paulo, Brasil, julho de 1997.

- Barrera, P., 1993, *Biodigestores: Energia, Fertilidade e Saneamento para a Zona Rural*, Icone, São Paulo, São Paulo, Brasil, 1993.

- Benicasa, M., Ortolani, A. F. and Lucas Junior, J., 1991, *Biodigestores Convencionais?*, FUNEP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil, 1991.

- Carrocci, L.R. & James, E.H. (1991). Cogeneration at Alcohol Plants in Brazil, *Energy*, Vol. 16, nº 8, pp. 1147-1151, 1991.

- O Estado de São Paulo, 1998, "Tabela - Os Grandes Vilões da Atmosfera, Cidades, Rodizio 98, pp. C4, São Paulo, Brasil, 03 de maio de 1998.

- Silveira, J.L., Balestieri, J.A.P., Almeida, R.A., Santos, H.M., 1996, Thermoeconomic Analysis: A Criterion for the Selection of Cogeneration Systems, 1996 International Mechanical Engineering Congress and Exposition - ASME Symposium on Thermodynamics and Design, Analysis and Improvement of Energy Systems, Proceedings of the ASME - Advanced Energy System Division, AES-vol.36, pp.253-260, Atlanta, Georgia, USA, 1996.

- Thapar, V., Agnihotri, G., Vyas, R., 1997, "Biogas - A Boon to Rural Economy", *Proceedings of the 3rd Latin-American Congress: Electricity, Generation and Transmission*, Vol.1, pp. 142-147, Campos do Jordão, São Paulo, Brasil, 1997.

• Destacamos aqui o grande apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, no desenvolvimento dessas pesquisas.