# GERAÇÃO ELÉTRICA EM PEQUENA ESCALA A PARTIR DA GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA

ELECTO EDUARDO SILVA LORA
RUBENILDO VIEIRA ANDRADE
MARIA EUGENIA CORRIA ARADAS

Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída (NEST)
Instituto de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Rua BPS 1303 Pinheirinho Itajubá-MG, CEP 37500-903

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é apresentar as diferentes tecnologias de gaseificação de biomassa discutindo suas vantagens, desvantagens e aplicações, bem como, mostra algumas experiências bem sucedidas nessa área.

O trabalho apresenta ainda uma analise da utilização do gás de biomassa em motores de combustão interna alternativos e em novas tecnologias de geração distribuída como motores Stirling e microturbinas a gás.

***Abstract:*** *This paper present a review about biomass gasifier technology and discuss his advantages, disadvantages and aplications as well as show some succeded experiences in this area.*

*The paper presents also an analysis of the biomass gas use in alternative engines and in new distributed generation technology such as Stirling engines and microturbines.*

## 1 Introdução.

O potencial energético da biomassa é enorme, tanto a escala mundial como no Brasil. Ao mesmo tempo, os bio-combustíveis poderiam ser uma das soluções para o fornecimento de eletricidade em comunidades isoladas, o que simultaneamente pode constituir um incentivo para o desenvolvimento de atividades extrativistas sustentáveis que contribuam ao desenvolvimento destas comunidades.

Um aspecto importante a analisar é a tecnologia de conversão a ser utilizada. Neste sentido a gaseificação apresenta alguns aspectos interessantes e vantagens. Não deve ser considerada entanto uma panacéia, devendo ser internalizadas as lições de fracassos relacionados com programas de eletrificação no meio rural baseados nesta tecnologia de conversão.

Deve se abordar o problema tecnológico de maneira integrada junto com aspectos sociais, culturais e ambientais com ênfase na aceitação da tecnologia pela comunidade, no treinamento do pessoal que operará o sistema e na sustentabilidade de todo o processo. Outras tecnologias poderiam ser utilizadas em casos específicos tais como a combustão da biomassa acoplada a ciclos a vapor e motores Stirling e o uso do biodiesel em motores de combustão interna. Porém não é fácil a tomada de decisões neste sentido considerando o pouco desenvolvimento, as poucas opções comerciais, a complexidade e baixa confiabilidade da maioria destas tecnologias.

O objetivo deste trabalho é a abordagem do estado da arte das tecnologias de geração de eletricidade baseadas na gaseificação de biomassa, visando a sua utilização em programas de eletrificação de regiões isoladas.

## 2 A gaseificação de biomassa: fundamentos, aplicações e barreiras tecnológicas.

Gaseificação é a conversão da biomassa em um gás combustível, através de sua oxidação parcial a temperaturas elevadas. Este gás é conhecido como gás pobre ou *producer gas.* O conteúdo médio dos compostos combustíveis no gás resultante da biomassa é para o CO entre 15 e 30 %, para o $H_2$ entre 12 e 40% e para o $CH_4$ entre 4,5 e 9%. O poder calorífico do gás fica na faixa entre 4 e 13 MJ/m3. Os menores valores correspondem à gaseificação com ar e os maiores à gaseificação com adição de vapor de água ou oxigênio.

A gaseificação, embora tecnologicamente mais complicada, apresenta algumas vantagens em comparação com a combustão direta:

A geração de eletricidade em pequena escala pode ser realizada sem a necessidade de um ciclo de vapor, utilizando o gás da biomassa diretamente em um motor de combustão interna ou, em perspectiva, num motor Stirling, microturbina a gás ou célula combustível. Deve se destacar que é possível obter eficiências comparáveis com as de centrais térmicas a carvão, fato este que constitui uma quebra de paradigmas.

Os gaseificadores para biomassa podem ser classificados de acordo com os seguintes parâmetros:
a) Poder calorífico do gás produzido:

- Gás de baixo poder calorífico - até 5 MJ/Nm3.
- Gás de médio poder calorífico - de 5 a 10 MJ/Nm3.
- Gás de alto poder calorífico - de 10 a 40 MJ/Nm3.

O poder calorífico do gás influi significativamente sobre a possível aplicação do mesmo, como indicado na Figura 1.

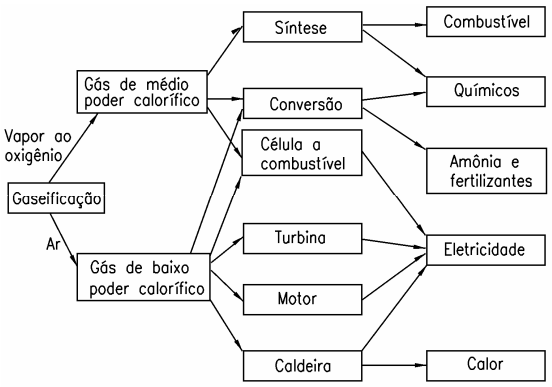


Figura 1- Aplicações da gaseificação de biomassa em dependência do poder calorífico do gás (BRIDGWATER, 2003).

b) Tipo de agente de gaseificação:

- Ar.
- Vapor de água.
- Oxigênio.

c) Pressão de trabalho:

- Baixa pressão (atmosférica).
- Pressurizados (até 3 MPa).

d) Direção do movimento relativo da biomassa e do agente de gaseificação (Figura 2):

- Leito em movimento a contrafluxo com o gás (contracorrente).
- Leito em movimento a fluxo direto com o gás (concorrente).
- Leito em movimento perpendicular ao fluxo de gás (fluxo cruzado).
- Leito fluidizado.

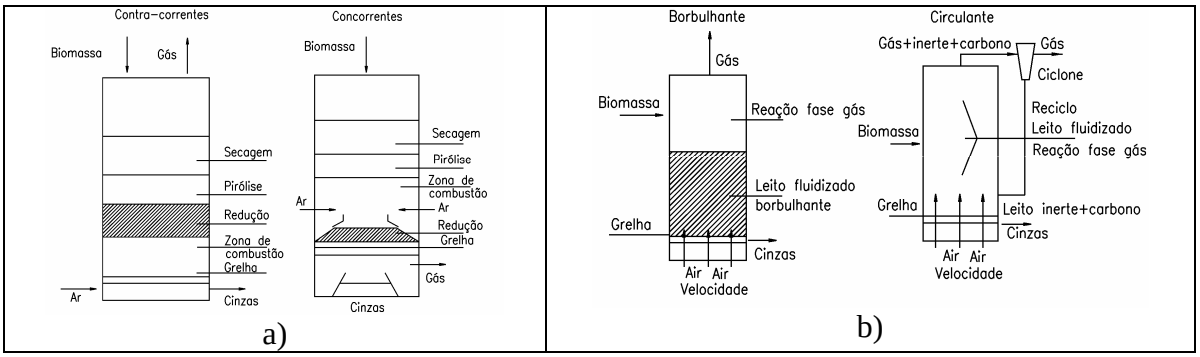


Figura 2- Classificação dos gaseificadores atendendo à direção relativa de movimentação do gás e da biomassa (BELGIORNO *et al*., 2002): a) Gaseificadores de leito fixo, b) Gaseificadores de leito fluidizado.

Na Figura 3 apresenta-se uma avaliação em relação com o grau de desenvolvimento tecnológico e a atratividade dos diferentes tipos de gaseificadores para biomassa. Os gaseificadores de leito fluidizado e os concorrentes são os que se encontram numa melhor posição para a implementação comercial em grande escala.

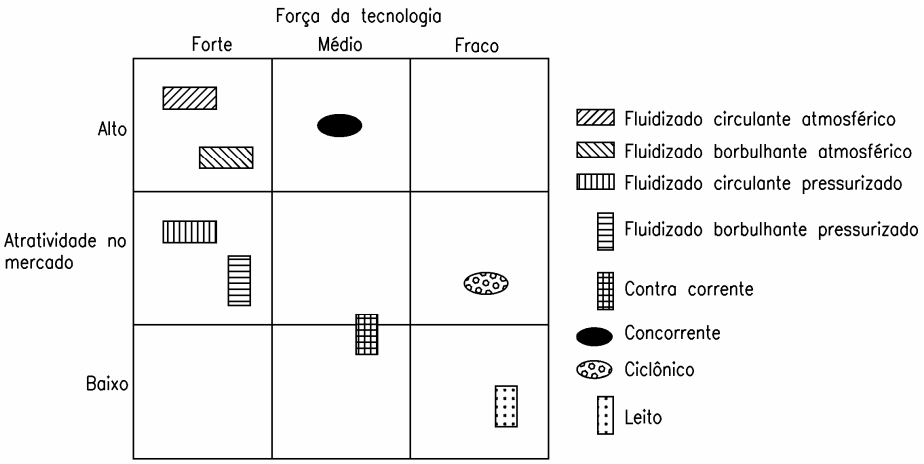


Figura 3- Desenvolvimento tecnológico e atratividade dos diferentes tipos de gaseificadores (BRIDGWATER, 2003).

O gás produto da gaseificação da biomassa contém contaminantes tais como partículas sólidas, alcatrão, metais alcalinos, sulfeto de hidrogênio e amônia, que devem ser removidos, pois podem causar graves problemas durante a operação dos equipamentos energéticos que utilizam este gás. A concentração de contaminantes varia dependendo do tipo de gaseificador (Figura 4). A tabela 1 indica os requerimentos na qualidade do gás de gaseificação para diferentes aplicações.

Geralmente se considera que na faixa de potência de 100 kWe a 2 MWe é mais viável produzir energia elétrica a partir de biomassa usando gaseificadores de leito em movimento e motores de combustão interna, principalmente do tipo concorrente, por causa do menor teor de alcatrão no gás. Gaseificadores de leito fluidizado são indicados para potências superiores a 3-5 MWe.

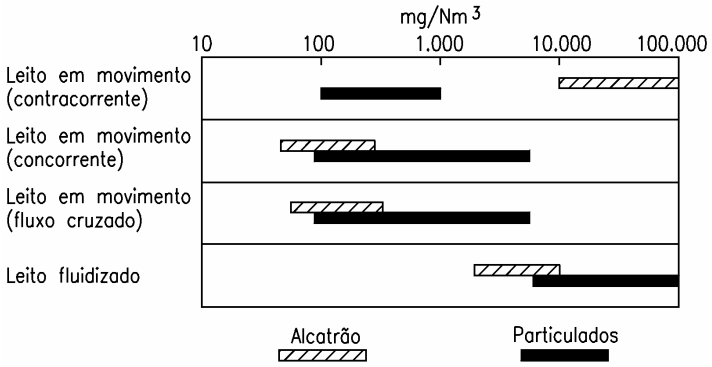


Figura 4- Faixa de variação do teor de alcatrão e particulados no gás obtido em diferentes tipos de gaseificadores (GUIGON & LARGE, 1990).

**Tabela 1 -** Requerimentos de qualidade do gás de gaseificação de biomassa para diferentes aplicações tecnológicas (KALTSCHMITT & HARTMANN, 2001).

| Teor e características dos compostos e controlados | Unidades | Motor de combustão interna | Turbina a gás | Síntese de metanol | Células a combustível |
|---|---|---|---|---|---|
| Teor de particulados | $mg/Nm^3$ | < 50 | < 30 | < 0.02 | |
| Dimensões das partículas | μm | < 3-10* | < 5 | | |
| Teor de alcatrão | $mg/Nm^3$ | < 100 | | < 0,1 | < 1 |
| Teor de álcalis (K , Na) | $mg/Nm^3$ | | < 0,25 | | |
| Teor de $NH_3$ | $mg/Nm^3$ | < 55 | | < 0,1 | < 0,1 |
| Teor de $H_2S$ | $mg/Nm^3$ | < 1150 | | < 1 | < 1 |

*(HASSLER & NUSSBAUMER, 1999)

## 3 Sistema Gaseificador/Motor de Combustão Interna.

A maioria dos projetos envolvendo geração de energia a partir de biomassa gaseificada de que se tem notícia utilizam motores de combustão interna alternativos (MCI) Os projetos envolvem tanto motores a gasolina, a gás como também a diesel. De acordo com KNOEF (2002) existem mais de 100 unidades de gaseificação de biomassa em pequena escala operando na Europa e nos Estados Unidos, além de algumas centenas nos países em desenvolvimento.

Quando se utiliza o gás de biomassa em motores a gasolina não é necessário fazer modificações nos mesmos, podendo funcionar somente com o gás. Neste caso, a razão de mistura gás-ar geralmente utilizada é de 1:1, podendo-se introduzir a mesma diretamente no carburador. Entretanto, os motores a diesel não conseguem operar somente com o gás de biomassa, podendo apenas substituir o diesel em até 90%, devendo-se realizar a partida com diesel e introduzir o gás de gaseificação gradativamente.

A potência e eficiência dos motores durante a operação com gás de biomassa é menor que quando se utilizam os combustíveis de projeto. Assim, por exemplo, para o caso de um motor diesel de 15 kWe a máxima eficiência obtida com a mistura foi de 14,71 % e com diesel puro foi de 22,41%. Neste caso a potência máxima com a mistura foi de 12 kWe (BHATTACHARYA, 2001).

Um fator importante a considerar é o projeto do sistema de limpeza do gás, geralmente composto por varias etapas que podem incluir: ciclone, resfriador, lavador, filtro de areia ou de papel, etc.

Os seguintes projetos constituem exemplos de sucesso:

- O gaseificador de topo aberto, do Indian Institute of Science que forma parte de uma planta piloto de 100 kWe em operação. A eficiência do gaseificador é de aproximadamente 80%

(BULHER, 1994; MUKUNDA *et al.*, 1993). O poder calorífico do gás é de 4,7 MJ/$Nm^3$, os teores de particulados e de alcatrão na saída do sistema de limpeza do gás são menores que 50 e 80 mg/$Nm^3$ respectivamente (DASSAPPA et al., 1996). A empresa Belga Xylowatt tem implementado esta tecnologia em várias plantas de gaseificação na Europa (Gazel-150 kWe, Regal-300 MWe e Bulle-200 kWe).

- O projeto GASEIFAMAZ "Comparação entre as tecnologias existentes para a gaseificação de biomassa", uma parceria entre o CENBIO (Centro Brasileiro de Referência em Biomassa), o BUN (Biomass Users Network of Brasil), IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e a UA (Universidade do Amazonas), prevê a avaliação dessa tecnologia para o fornecimento de energia elétrica de forma sustentável às comunidades isoladas da região amazônica. Assim, foi importado um sistema de gaseificação de 20 kW. Durante os testes foi obtido um poder calorífico superior do gás de 5,7 MJ/$Nm^3$ para um consumo de biomassa de 18 kg/h.

- O gaseificador comercial chinês para casca de arroz já vendido em escala comercial e com cerca de 100 unidades na China. O consumo específico de combustível em um gaseificador deste tipo avaliado em Mali foi de 3,75 – 4,0 kg casca /kWh, ainda que se reportem dados na faixa de 2,0 – 2,5 kg/kWh para gaseificadores operando na China (MAHIN, 1990).

- Gaseificador ENAMORA, instalado em Móra d´Ebre, Tarragona, Espanha e projetado com apoio do Instituto Catalão de Energia. Trata-se de um gaseificador de cascas de nozes em leito fluidizado acoplado a um motor diesel com 750 kWe de potência. O sistema já acumula mais de 15.000 horas de operação. A eficiência do sistema é de 21-22 % (EQTEC Ibéria, 2004).

- Planta de gaseificação em Gussing, Áustria. Composta por um gaseificador de leito fluidizado de duas zonas, que utiliza vapor como agente de gaseificação, e um motor a gás Jenbacher J620 GS. O poder calorífico do gás de gaseificação é 12 MJ/$Nm^3$ e a eficiência elétrica do conjunto é de aproximadamente 30% (ELSEBRUCH, 2003).

- Biomax 15. Sistema gaseificador/MC de 10-25 kWe desenvolvido pela empresa Community Power Corporation (CPC) conjuntamente com o National Renewable Energy Laboratory-NREL do Departamento de Energia dos Estados Unidos. O consumo específico de biomassa é de 1,5 kg/kWh e o investimento específico 1.200,00 $/kWh (TMU, 2003).

- Gaseificador de duplo estágio de gaseificação da Termoquip (único fabricante nacional): esse tipo de gaseificador em conjunto com um sistema de limpeza catalítica constitui um avanço significativo da aplicação dessa tecnologia já que produz um gás com baixo teor de alcatrão e não precisa de água para limpeza do gás.

Em 1983 o Banco Mundial iniciou o "Programa de monitoramento de gaseificadores de pequena escala para biomassa". Os dados e conclusões deste programa, obtidos em 1993, são (STASSEN, 1995):

- O consumo específico médio de biomassa dos gaseificadores em operação é de 1,1 – 1,4 kg/kWh naqueles que utilizam madeira, 0,9 kg/kWh nos que utilizam carvão vegetal e 2,0 - 3,5 kg/kWh quando o combustível é a casca de arroz;

- A eficiência média do sistema gaseificador - motor de combustão interna é de 13%, um valor menor que o prometido pela maioria dos fabricantes;
- A fração de diesel substituída pelo gás é de 40 - 70%.

- O investimento específico em gaseificadores de fabricação nacional, nos países em desenvolvimento é de 400 – 1.550 US$/ kWe, e em gaseificadores importados 850 a 4.200 US$/kWe.

- Os gaseificadores de biomassa para geração de potência, no geral não são uma opção economicamente atrativa para preços do petróleo, na faixa de 15 a 20 US$/barril (preço do

barril do petróleo na época em que foi realizada a pesquisa). Considerando que atualmente o preço do barril é da ordem de 40 US$ esses sistemas já devem apresentar viabilidade econômica.

As principais causas de fracassos e êxitos em programas de gaseificação de biomassa a pequena escala, segundo STASSEN (1995), KNOEF (2002) são apresentadas na Tabela 2.

## 4 Sistema Gaseificador/Motor Stirling.

O motor Stirling é um motor de combustão externa, o que faz com que, em principio, seja possível utilizar nele qualquer tipo de combustível. A biomassa, tanto através da sua combustão direta, como através da gaseificação é um combustível muito perspectivo para os motores Stirling, pois sendo estes de fácil operação e construídos em forma de unidades seladas, podem ser instalados em regiões isoladas. A maior desvantagem deste tipo de motor é o seu alto custo.

Já existem modelos comerciais, numa faixa de potências de 9-70 kWe para a operação com gás natural e GLP. No futuro espera-se atingir capacidades de até 300 kWe. Um dos projetos mais bem sucedidos e o da Universidade Técnica de Dinamarca, onde foi desenvolvido e testado por longo tempo um motor Stirling que opera acoplado a um gaseificador de biomassa (CARLSEN, 2002). Um gaseificador contracorrente da Backock & Wilcox foi anexado a um motor Stirling de 35 kWel, fabricado na própria Universidade. A eficiência líquida do sistema foi de 13,9 %.

**Tabela 2** - Causas de fracassos e êxitos em programas de gaseificação a pequena escala

| Razões | Fracassos | Êxitos |
|---|---|---|
| *Técnicas* | - Dificuldades operacionais por problemas técnicos de projeto (fusão de cinzas, baixo poder calorífico do gás, baixa confiabilidade).<br>- Pouca experiência dos operadores.<br>- Ajuste inadequado de capacidade no sistema gaseificador - motor.<br>- Alto valor das emissões. | - Operadores bem preparados e motivados.<br>- Apoio técnico constante.<br>- Protótipos testados durante longo tempo.<br>- Capacidade de fabricação local. |
| *Financeiras* | - Alto custo dos gaseificadores importados.<br>- Investimentos privados limitados.<br>- Aumento dos preços da biomassa.<br>- Remuneração da energia. | - Tecnologia bem desenvolvida.<br>- Disponibilidade de peças de reposição.<br>- Contrato a longo prazo para a comercialização da eletricidade. |
| *Institucionais* | - Apoio insuficiente.<br>- Instalação dos gaseificadores em lugares inadequados sem interesse comercial.<br>Desconhecimento da tecnologia pelas autoridades. | - Apoio intenso.<br>- Presença de equipe experiente em gaseificação para treinamento e manutenção. |

Em comparação com sistemas que utilizam fornalhas para biomassa, este conjunto motor Stirling-gaseificador de biomassa tem as seguintes vantagens:

- Não foram observados consideráveis depósitos de cinzas nos tubos do aquecedor. Isto faz com que não seja necessária a limpeza do gás;
- O fato do gás ser queimado a alta temperatura numa câmara de combustão faz com que o teor de alcatrão e a sua remoção deixem de ser um problema;
- É conveniente a geração do gás a alta temperatura.

## 5 A gaseificação de biomassa e os sistemas avançados de geração (Microturbinas e células a combustível).

Em principio é possível utilizar o gás obtido como resultado da gaseificação da biomassa para acionar microturbinas a gás e células a combustível. Estas opções tem como vantagens uma alta eficiência de conversão, a possibilidade de operar em regime de cogeração e um impacto ambiental muito pequeno. Porém, encontram-se atualmente nas etapas iniciais de desenvolvimento. Vejamos a continuação os projetos de pesquisa em andamento:

a) Sistema Gaseificador de biomassa / Microturbina.

- Nos EUA a empresa Reflective Energies está desenvolvendo o projeto denominado Flex-Microturbine, que consiste na remodelamento de uma microturbina da Capstone Corporation para a queima catalítica de gás pobre. Em 2003 foi fabricado o primeiro protótipo, e um projeto demonstrativo com a gaseificação de cascas de nozes e a Flex-microturbine, está sendo implementado em Tucson, Arizona (DOE, 2002).

- A CSIRO- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, a JC Smale & Co e a Capstone estão desenvolvendo o projeto Green Gasifier Generator que prevê o acoplamento de um gaseificador de biomassa com uma microturbina da Capstone a fim de criar sistemas com potência na faixa de 25-200 kW. O consumo específico de biomassa previsto é de aproximadamente 1 kg/kWh. Para o ano 2010 espera-se ter 1000 unidades deste tipo em operação.

b) Sistema Gaseificador de biomassa / Célula a combustível.

As células de alta temperatura MCFC-de carbonato fundido e SOFC de óxido sólido são as que apresentam melhores condições para seu acoplamento com gaseificadores de biomassa, microturbinas a gás e /ou turbinas a vapor. Isto é conseqüência do nível térmico dos gases de exaustão da célula de da possibilidade de utilizar o CO presente no gás pobre como combustível. Não existem sistemas comerciais que utilizam biocombustíveis em células a combustível, e as pesquisas se limitam à modelagem e otimização de diferentes variantes esquemáticas e a testes de curta duração em laboratórios.

Modelagem de sistemas:

- Gaseificador de biomassa / células tipo MCFC. Tem sido estudado por LOBACHYOV & RICHTER (1998) e KIVISAARI et al. (2002), mostrando como resultado eficiências de 53 % para um sistema gaseificador/MCFC/turbina a vapor, e de 32-43,5 % para diferentes variantes de acoplamento de um gaseificador de biomassa e uma célula MCFC.

- Sistema gaseificador/microturbina/célula SOFC (BUHRE & ANDRIES, 2000). Para o caso de uma microturbina a gás de 28 kWe obtiveram uma eficiência de 54,4%, sendo que 2/3 da potência elétrica total corresponde à célula a combustível.

- Na Universidade de Lund tem se trabalhado na modelagem de um sistema gaseificador/microturbina/célula SOFC com uma potência de 4-5 MWe. Os resultados indicam a possibilidade e atingir uma eficiência na faixa de 55-58 %. (BARCHEWITZ & PARLSSON, 2000).

Testes laboratoriais:

O Centro Holandês de Pesquisas em Energia ECN reportou os resultados da demonstração do acoplamento de uma célula tipo SOFC com um gaseificador de biomassa demonstrando a factibilidade de operação do sistema e atingindo uma eficiência de 38-42,5 %. A duração do teste foi de 48 horas (ECN, 2002).

A Universidade de L´Alquila na Itália coordena o projeto “Progress in coupling biomass gasification and MCFC stack” da Comunidade Econômica Européia que prevê a avaliação de um sistema integrado gaseificador de biomassa/MCFC de 500 kW de potência térmica e 125 KW de potência elétrica. Está prevista a separação a quente das partículas, cloro e enxofre contido no gás. Atualmente a planta está em processo de montagem (Energy from biomass, 2000).

Neste ano está previsto no National Renewable Energy Laboratory a realização de testes de um conjunto gaseificador /SOFC.

A seção de Engenharia Térmica da Universidade de Delft na Holanda deve iniciar o projeto Biocellus que pretende pesquisar o impacto de diferentes contaminantes presentes no gás de gaseificação sobre a operação da célula e o desenvolvimento e demonstração de um sistema integrado gaseificador /SOFC especifico para a operação com bio-combustíveis (ANDRIES *et al*., 2003).

## 6 Projetos em andamento no Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída – NEST da UNIFEI.

O Nest-UNIFEI com recursos de projetos CTNERG, e projetos P&D da ANEEL em conjunto com a CEMIG e CPFL desenvolve projetos de pesquisa nos temas relacionados com a geração de eletricidade a partir da gaseificação da biomassa:

- Projeto, montagem e teste de um sistema Gaseificador / MCI de 10 kW de potência. Pretende-se utilizar um motor à gasolina.

- Avaliação experimental da operação de uma microturbina de 30 kWe operando com misturas gás de gaseificação de biomassa / gás natural e com bio-diesel.

- Avaliação de Motores Stirling acoplados a um gaseificador de biomassa e uma fornalha, visando definir os parâmetros de operação, vantagens e desvantagens destes sistemas.

- Projeto, construção e testes de sistemas fornalha / Motor Stirling para a operação em regiões isoladas (Projeto CTNERG/CEMIG a ser desenvolvido conjuntamente com a Universidade Técnica de Dinamarca).

- Modelagem e testes e uma célula SOFC de 5 kWe fabricada pela Fuel Cells e de sistemas híbridos com microturbinas. Avaliação da possibilidade e requerimentos para o acoplamento desta célula SOFC a um gaseificador de biomassa.

A Tabela 3 mostra uma visão geral das tecnologias de produção de eletricidade a partir da gaseificação da biomassa, com valores de referência para seus parâmetros técnico-econômicos básicos, assim como a valoração da sua disponibilidade comercial.

**Tabela 3** – Indicadores e disponibilidade comercial das tecnologias para a geração de eletricidade a partir da gaseificação da biomassa

| tecnologia | Eficiência | Custo | Disponibilidade comercial | Comentário |
|---|---|---|---|---|
| | % | US$/kW | | |
| Gaseificador / MCI | 25- 30 | 900-1500 | Sim | Poucos fornecedores |
| Gaseificador / Motor Stirling | 13-16 | 1120-3000 | Não | Pré-comercial |
| Gaseificador / microturbinas a gás | 25-30 | 1.500 - 1600 | Não | Pesquisa aplicada |
| Gaseificador / Células a combustível | 40-55 | 3000-4000 | Não | Pesquisa básica |

## 7 Conclusões

a) A tecnologia de gaseificação de biomassa com maior maturidade tecnológica e comercial para a sua utilização em programas de eletrificação de regiões isoladas é a que utiliza motores de combustão interna como acionador primário. Deve se estabelecer projetos para teste e adaptação dos gaseificadores existentes atualmente no mercado simultaneamente com a recuperação da capacidade nacional de projeto e fabricação destes equipamentos.

b) O motor Stirling acoplado a gaseificadores de biomassa tem um grande potencial para aplicação em programas de eletrificação de regiões isoladas, dada a sua facilidade de operação e manutenção. Devem ser implementados projetos que visem testes a longo prazo desta tecnologia visando a produção nacional a preços competitivos como objetivo final.

c) Visando o domínio de tecnologias avançadas e aplicações em grande escala a médio prazo deve se incentivar as pesquisas relacionadas com a operação conjunta de microturbinas a gás e células a combustível com gaseificadores de biomassa, incluindo os sistemas híbrido.

**Palavras-chave:** Biomassa, gaseificação, motor de combustão interna, motor Stirling

## Referencias

[1] ANDRIES, J., ARAVIND, P.V., SPLETHOFF, H., **Influence of fuel gas components on SOFC Operation downstream of a thermochemical biomass gasifier, Proceedings of the International Conference on Power Engineering** – 03 (ICOPE-03), Kobe, Japan, November 9-13, 2003.
[2] BARCHEWITZ, L., PÅLSSON, J., **Design of an SOFC System Combined to the Gasification of Biomass**. 4th European SOFC Forum. Lucerne, Switzerland, July 2000.
[3] BELGIORNO, V., DE FEO, G., DELLA ROCA, C., NAPOLI, R.M.A., **Energy from gasification of solid wastes**, Waste Management, Vol 23, pp 1-15, 2003.
[4] BHATTACHARYA, S.C, HLA, SAN SHWE, PHAM, HOANG-LUANG, **A Study on a Multi-Stage Hybrid Gasifier-Engine System** Biomass and Bioenergy Vol. 21, pg 445-460, 2001.
[5] BRIDGEWATER, A.V., **Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass**, Chemical Engineering Journal, Vol.91, pp 87-102, 2003.
[6] BULHER, R., **State of Technology in wood gasifying**, In: 3 Holzenergie Symposium: Neue Erkennisse Zur Termishen Nutzung Von Holtz, 1994.
[7] BUHRE, B. J. P., ANDRIES, J. **Biomass-Based, Small-Scale, Distributed Generation of Eletricity and Heat Using Integrated Gas Turbine- Fuel Cell Systems**, Proceedings of ASME TURBO EXPO 2000, Maio, 2000.
[8] CARLSEN, H., BOVIN, J.K., WERLING, J., JENSEN, N., KITTELMANN, J.F., **Results from tests of a Stirling engine and wood chips gasifier plant**, Communicação pessoal, 2002.
[9] EQTEC IBERIA, **Integrated biomass gasification power plants**, Documento baixado da internet em maio de 2004, http://www.energiaverde.com/Demo67es.pdf.
[10] ELSEBRUCH, T., **From wood ... to Mega Watt: New biomass gasification power plant in Gussing / Áustria**, Wood Energy, No1, pp. 30-34, 2003.
[11] ECN, ECN BIOMASS NEWSLETTER, **Successful demonstration of gasifier SOFC fuel cell combination**, Vol 2, No. 2, December 2002.
[12] ENERGY FROM BIOMASS, **Biomass gasification and fuel cell coupling via high temperature gas clean-up for decentralized electricity generation with improved efficiency**, European Project ENK-CT2000-00314", http://dsiaq1.ing.univaq.it/~bio_en/eu2000.html.
[13] GUIGON, P., LARGE, J. F., **Environmental Aspects of Gasification**, report for the Commission of European Communities, EUR 12736, pp 115-131.
[14] HASLER, P., NUSSBAUMER, TH., **Gas Cleaning for IC Engine Applications from Fixed Bed Biomass Gasification**, Biomass and Bioenergy, vol. 16, pg. 385 – 395, 1999.
[15] KALTSCHMITT, M., HARTMANN, **Energie aus biomass: Grundlagen, Techniken und Verfahren**, Springer Verlag, 2001.
[16] KIVISAARI, T., BJORNBOM, P. SYLWAN, C.**Studies of biomass fuelled MCFC Systems**, Journal of Power Sources, pp. 115-124, 2002.
[17] KNOEF, H., **Review of small-scale biomass gasification**, Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste Expert Meeting, Strasbourg, France, 2002.

[18] LOBACHYOV, K.V., RICHTER, H.J., **An Advanced Integrated Biomass Gasification and Molten Fuel Cell Power System**, Energy Conversion. Vol. 39 N. 16 pp 1931 – 1943. Inglaterra, 1998;
[19] MAHIN, D. B., **Energy from rice residues**. Winrock International, Arlington, 1990.
[20] MUKUNDA, H.S., DASSAPPA S., SHRINIVASA, U. **Open-top wood gasifiers**. In: T.B. Johansson, H. Kelly, A K.N. Reddy, R.H. Williams, L. Burnham, (Ed*.).* Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity, Washington D.C: Island Press, 1993.
[21] STASSEN, H., **Small-scale biomass gasifiers for heat and power; a global revie**, Technical paper no. 296, World Bank 1995.
[22] TMU, **Biomass for small-scale heat and power**, Forest Products Laboratory, Technology Market Unit, No. 07, 2003.