

DANIEL HENRIQUE SOARES

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA DE MÉDIO E GRANDE PORTE
PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE: UMA ANÁLISE DA
SITUAÇÃO ATUAL NO MUNDO

São Paulo

2012

DANIEL HENRIQUE SOARES

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA DE MÉDIO E GRANDE PORTE
PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE: UMA ANÁLISE DA
SITUAÇÃO ATUAL NO MUNDO

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientadora: Prof^a. Dra. Suani Teixeira Coelho

São Paulo
2012

DANIEL HENRIQUE SOARES

GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA DE MÉDIO E GRANDE PORTE
PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE: UMA ANÁLISE DA
SITUAÇÃO ATUAL NO MUNDO

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientadora: Prof^a. Dra. Suani Teixeira Coelho

São Paulo
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Soares, Daniel Henrique

Gaseificação de biomassa de médio e grande porte para geração de eletricidade: uma análise da situação atual no mundo / D.H. Soares. – São Paulo, 2013.

47 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Geração de energia elétrica 2. Gaseificação 3. Biomassa I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II. t.

RESUMO

O objetivo desse trabalho é pesquisar e analisar a situação atual da gaseificação de biomassa de médio e grande porte no mundo para geração de energia elétrica, e discutir as perspectivas e fronteiras para seu uso no país.

Apesar da tecnologia de gaseificação já ser conhecida há muito tempo, pouco evoluiu na geração de energia elétrica utilizando biomassa em escala comercial.

Hoje, o principal problema está na limpeza dos gases produzidos na gaseificação para que possam ser alimentados em motores e, principalmente, em turbinas a gás para geração de eletricidade. Quando utilizados diretamente em um motor, que não exige um gás tão limpo quanto a turbina a gás, parece ser possível a geração de energia elétrica. Porém essa tecnologia possui eficiência menor do que um ciclo combinado com turbinas a gás e há dificuldades em inseri-la para gerações de grande porte.

O uso do gás obtido em turbinas a gás, que possuem maior eficiência, requer um gás extremamente limpo.

Um outro problema relevante se refere às dificuldades com a alimentação da biomassa, principalmente nos sistemas de gaseificação pressurizados.

Neste contexto, esta monografia visa pesquisar e analisar os projetos que geram energia elétrica utilizando a tecnologia de gaseificação de biomassa, verificando quais plantas estão em operação e também quais não obtiveram sucesso no seu funcionamento, e o motivo de terem sido desativadas. Além disso, serão discutidas as barreiras e perspectivas para seu uso no Brasil.

Palavras-Chave

Energia Renovável. Biomassa. Gaseificação. Geração Energia Elétrica.

ABSTRACT

The aim of this study is to search and analyze the current status medium and large scale of biomass gasification to generate electricity in the world, and to discuss perspectives and difficulties for its use.

Although gasification technology has been known for a long time, little progresses has been made in regards to generation power from biomass on a commercial scale.

Nowadays, the main problem is the cleaning of gases released in the gasification to feed in engines and especially in gas turbines for electricity generate. When used directly in an engine, that does not require a gas as clean as the gas in turbines, it is possible to generate electricity without so many difficulties. However this technology has low efficiency and there are difficulties in inserting it for large scales.

The use of gas obtained in gas turbines, which has improved efficiency, requires a very clean gas.

Another problem relevant is the difficulties with biomass feeding, especially in pressurized gasifier system.

In this context, the monograph aims to investigate and analyze the projects that generate power using biomass gasification technology, looking the plants that are in operation and which also did not succeed in its operation. The study will also investigate the reasons why they were disabled.

Keyword

Renewable Energy. Biomass. Gasification. Power.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1. Matriz Mundial de Gaseificação – por Combustível..... | 7 |
| Figura 2. Capacidade Mundial de Geração de Gás de Síntese – por Produto | 8 |
| Figura 3. Classificação dos gaseificadores por tamanho..... | 9 |
| Figura 4. Gaseificador Contracorrente..... | 11 |
| Figura 5. Gaseificador Concorrente | 14 |
| Figura 6. Gaseificador Leito Fluidizado Borbulhante..... | 16 |
| Figura 7. Gaseificador Leito Fluidizado Circulante | 17 |
| Figura 8. Gaseificador Leito de Arraste | 17 |
| Figura 9. Síntese de Fischer-Tropsch..... | 23 |
| Figura 10. Planta de Maui, Hawaii..... | 25 |
| Figura 11. Planta de Varnamo, Suécia..... | 26 |
| Figura 12. Planta de Grève, Chianti, Itália..... | 27 |
| Figura 13. Planta de Kymijärvi - Lahti | 28 |
| Figura 14. Planta de Arbre, Inglaterra..... | 29 |
| Figura 15. Fábrica de Skive, Dinamarca | 30 |
| Figura 16. Planta de Schwarze Pumpe após a Segunda Fase | 31 |
| Figura 17. Fábrica de Movialsa, Espanha..... | 32 |
| Figura 18. Planta de Tees Valley, Inglaterra..... | 33 |
| Figura 19. Localização dos projetos de Gaseificação de Biomassa..... | 33 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Comparação entre sistemas de limpeza de gases | 20 |
| Tabela 2 – Projetos de Gaseificação de Biomassa | 35 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 1.1 OBJETIVO | 5 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 5 |
| 2.1 GASEIFICAÇÃO | 5 |
| 2.2 TIPOS PRINCIPAIS DE GASEIFICADORES | 9 |
| 2.2.1 GASEIFICADORES DE LEITO FIXO..... | 10 |
| 2.2.1.1 Contracorrente (Updraft) | 10 |
| 2.2.1.2 Concorrentes (Downdraft)..... | 12 |
| 2.2.2 GASEIFICADORES DE LEITO FLUIDIZADO | 14 |
| 2.2.2.1 Leito Fluidizado Borbulhante..... | 16 |
| 2.2.2.2 Leito Fluidizado Circulante | 16 |
| 2.2.3 GASEIFICADORES LEITO DE ARRASTE (<i>ENTRAINED FLOW</i>)..... | 17 |
| 2.3 LIMPEZA DO GÁS DE BIOMASSA..... | 19 |
| 2.4 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS DE BIOMASSA | 20 |
| 2.4.1 Aproveitamento térmico do gás de biomassa..... | 20 |
| 2.4.2 Geração de Energia Elétrica..... | 21 |
| 2.4.2.1 Motores de Combustão Interna..... | 21 |
| 2.4.2.2 Motores Stirling..... | 22 |
| 2.4.2.3 Turbinas a gás | 22 |
| 2.4.3 Síntese de Fischer-Tropsh..... | 23 |
| 3 PROJETOS DE GASEIFICAÇÃO DE MÉDIO E GRANDE PORTE..... | 24 |
| 3.1 Projeto Hawai Biomass Gasification (Hawai) | 24 |
| 3.2 Värnamo (Suécia) | 25 |
| 3.3 Grève – Chianti (Itália) | 26 |
| 3.4 Kymijärvi - Lahti (Finlândia)..... | 27 |
| 3.5 Arbore (Inglaterra)..... | 28 |
| 3.6 Skive (Dinamarca) | 29 |
| 3.7 Schwarze Pump (Alemanha) | 30 |
| 3.8 Movialsa (Espanha)..... | 31 |
| 3.9 Tees Valley (Inglaterra)..... | 32 |
| 3.10 Outros Projetos | 33 |

| | |
|--|----|
| 3.11 Projeto IPT 2012 – Gaseificação de Biomassa | 38 |
| 4 CONCLUSÃO | 38 |
| 5 BIBLIOGRAFIA..... | 41 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é pesquisar as plantas de geração de energia elétrica através da tecnologia de gaseificação de biomassa. Apesar de se ter notícia de algumas plantas ao redor do mundo, pouquíssimos projetos são de grande porte e muitos acabaram não obtendo sucesso no seu funcionamento.

Dessa forma, o trabalho visa pesquisar as plantas ao redor do mundo que estão em pleno funcionamento, quais as dificuldades enfrentadas pelos projetos que não deram certo e discutir as barreiras e perspectivas para seu uso no Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GASEIFICAÇÃO

A tecnologia de gaseificação já é conhecida há mais de 200 anos e ao longo desse tempo diversos projetos pilotos foram desenvolvidos. Apesar de todos os esforços muitos projetos não tiveram sucesso, alguns por problemas tecnológicos e outros por problemas financeiros.

Conforme analisado em maiores detalhes em Cortez; Lora e Gomez (2011), a gaseificação é o processo termoquímico de conversão de uma matéria orgânica (sólida ou líquida) em um gás combustível. A queima é realizada em uma condição de escassez de ar em relação à queima estequiométrica, produzindo o gás de síntese ou *syngas*, basicamente rica em hidrogênio e monóxido de carbono.

O processo de gaseificação ocorre em equipamentos chamados de gaseificadores. Segundo Coelho (2012), as etapas podem ser resumidas em:

I. Pirólise (ou decomposição térmica, se desenvolve a temperaturas próximas de 600°C)

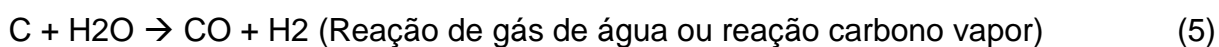


II. Oxidação do Carbono (constitui a fonte de energia térmica para o processo de volatilização e gaseificação.)



III. Gaseificação (inclui reações heterogêneas entre os gases e o coque residual, assim como reações homogêneas entre os produtos já formados).

- Reações Heterogêneas



- Reações Homogêneas



IV. Craqueamento do Alcatrão (processo de destruição térmica das moléculas dos compostos que formam o alcatrão com a obtenção de CO, CO₂, CH₄ e outros gases como produtos).



V. Oxidação Parcial dos Produtos da Pirólise.



O gás produzido a partir da gaseificação da biomassa pode ser utilizado em diversas aplicações, como a geração de energia elétrica, geração de calor para aquecimento direto e como matéria prima para obtenção de combustíveis líquidos através da síntese de Fischer-Tropsch (produzindo metanol, etanol, amônia, gasolina, diesel, entre outros).

A gaseificação, apesar de ser conhecida há muitas décadas, ainda é pouco utilizada com a biomassa. Segundo GTC (2012), a maioria dos projetos são com carvão, seguidos de petróleo, gás natural, petcoke e só por último biomassa, representando menos de 1% na matriz (Figura 1).

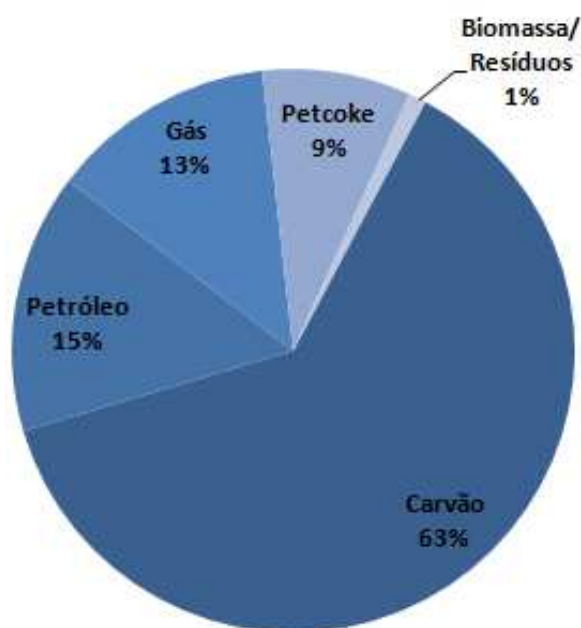


Figura 1. Matriz Mundial de Gaseificação – por Combustível
(Adaptado de GTC, 2012)

Em relação ao produto final, a geração de energia elétrica encontra-se em terceiro lugar, atrás de produtos químicos e combustíveis líquidos (Figura 2). Porém, segundo NETL (2012), a utilização da tecnologia de gaseificação para geração de energia elétrica é a que mais irá crescer nos próximos anos.

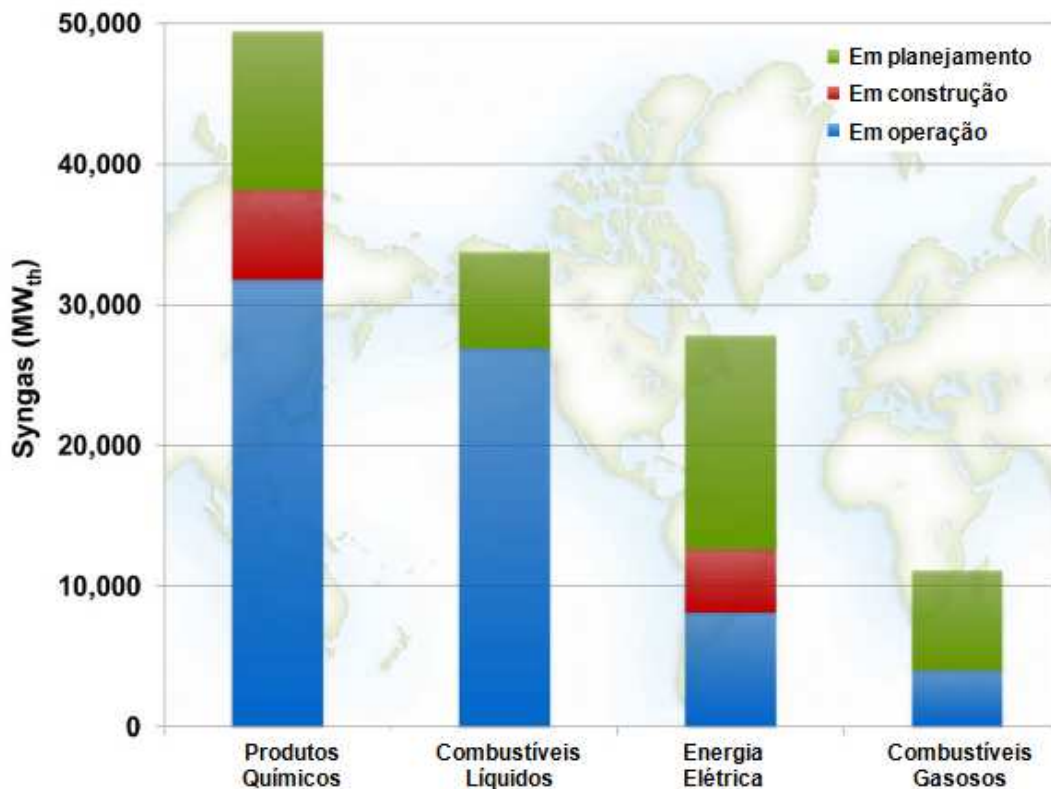


Figura 2. Capacidade Mundial de Geração de Gás de Síntese – por Produto (NETL, 2012)

As vantagens para o uso de gaseificação podem ser numerosas, principalmente em regiões isoladas que tem dificuldades para obter outros tipos de combustíveis (diesel, óleo, etc.). Isso porque a geração em pequena escala pode ser feita apenas com a queima do gás em um motor de combustão (sem a necessidade de um ciclo a vapor).

Além disso, podemos citar outros benefícios:

- Gaseificação possui maior eficiência energética (65 a 80%) em relação a combustão direta (60 a 75%);
- As cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador, diminuindo assim a emissão de particulados;
- É facilmente distribuído;
- A sua queima é mais facilmente controlada;

Em relação às dificuldades, existem tanto na parte tecnológica da gaseificação quanto na utilização da biomassa.

Apesar da tecnologia ser conhecida há muito tempo, ainda há dificuldades para utilizá-la de forma mais eficiente com o objetivo de gerar energia elétrica, onde utiliza-se turbinas a gás. O principal motivo é a necessidade de gases extremamente limpos.

A outra dificuldade encontrada é no manuseio da biomassa. Apesar da constante mecanização e automação dessa atividade, ainda há um elevado custo para plantação (necessidade de grandes áreas), colheita e principalmente transporte (frete), o que muitas vezes acaba inviabilizando a execução de um projeto.

2.2 TIPOS PRINCIPAIS DE GASEIFICADORES

Os gaseificadores podem ser classificados em leito fixo, leito fluidizado e leito de arraste.

As diferentes tecnologias dos gaseificadores influenciam diretamente em seu tamanho. Abaixo, IRENA (2012) classifica de forma simples os gaseificadores por porte, em MW.

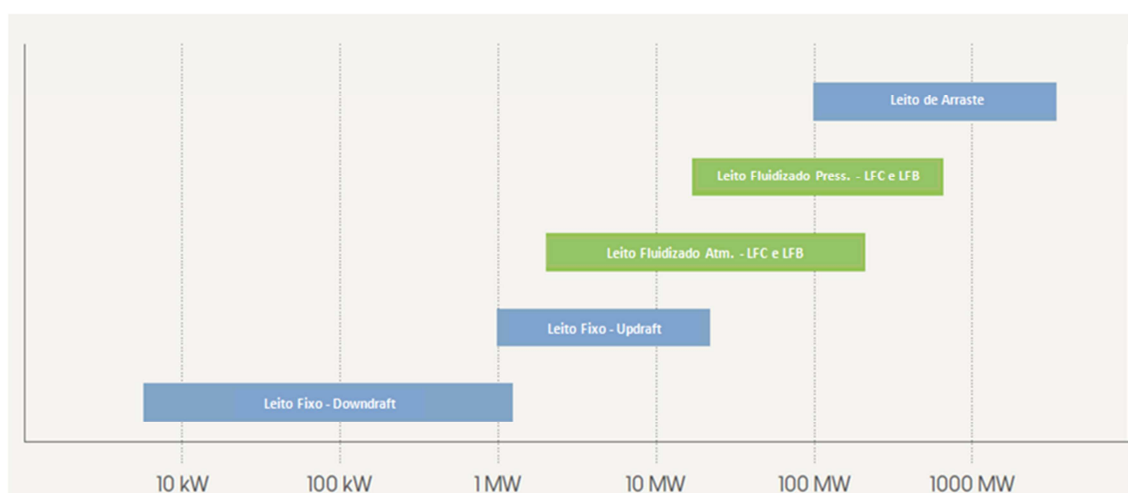


Figura 3. Classificação dos gaseificadores por tamanho
(Adaptado de IRENA, 2012)

2.2.1 GASEIFICADORES DE LEITO FIXO

O gaseificador de leito fixo é o mais antigo, o mais simples e mais difundido. É uma tecnologia utilizada para gaseificação de pequeno porte, onde a matéria somente se move por ação da gravidade. Pode ser dividido em *updraft* e *downdraft*.

2.2.1.1 Contracorrente (*Updraft*)

O gaseificador mais simples é o de contracorrente (figura 4). Nesse gaseificador o fluxo de gás é contrário à alimentação de biomassa, a qual é feita pela parte superior do equipamento e descende pela ação da força gravitacional conforme é consumido.

Segundo Cortez; Lora e Gomez (2011) os gaseificadores contracorrentes tendem a ter uma eficiência térmica alta, devido aos gases provenientes da região de combustão pré-aquecerem o combustível que será utilizado. Porém, possuem a desvantagem de produzirem um gás extremamente carregado principalmente de alcatrão, devido ao fato de os produtos resultantes da volatilização da biomassa (etapa da pirólise) não serem craqueados na zona de combustão.

Apesar de esse equipamento poder ser utilizado com uma larga escala de combustíveis (biomassa, resíduos municipais, etc), deve-se ressaltar que pelo fato do gás gerado possuir grandes quantidades de alcatrão pode impedir sua utilização em motores de combustão interna, limitando seu uso principalmente à queima direta em fornos e caldeiras.

Segundo CENBIO (2002), as principais vantagens e desvantagens dos gaseificadores contracorrentes são:

Vantagens:

- Simplicidade operacional e habilidade de gaseificar materiais com elevado teor de água e material inorgânico;

- Potencial de operar com temperaturas muito elevadas na região da grelha, capaz de fundir metais e escória.

Desvantagens:

- O gás gerado normalmente contém de 10 a 20 % do alcatrão gerado na pirólise do combustível, com uma concentração da ordem de 100 g/Nm³. Estes alcatrões, no entanto, queimam bem em processos de combustão direta.
- No caso de aplicações em motores de combustão interna, turbinas ou para geração de gás de síntese, o alcatrão deverá ser removido;
- A grelha pode ser submetida a temperaturas muito elevadas, a não ser que vapor d'água ou CO₂ seja injetado com o ar ou oxigênio;
- A granulometria do combustível alimentado tem de ser uniforme para evitar perda de carga elevada no leito (no caso do gaseificador atmosférico) ou formação de canais preferenciais.

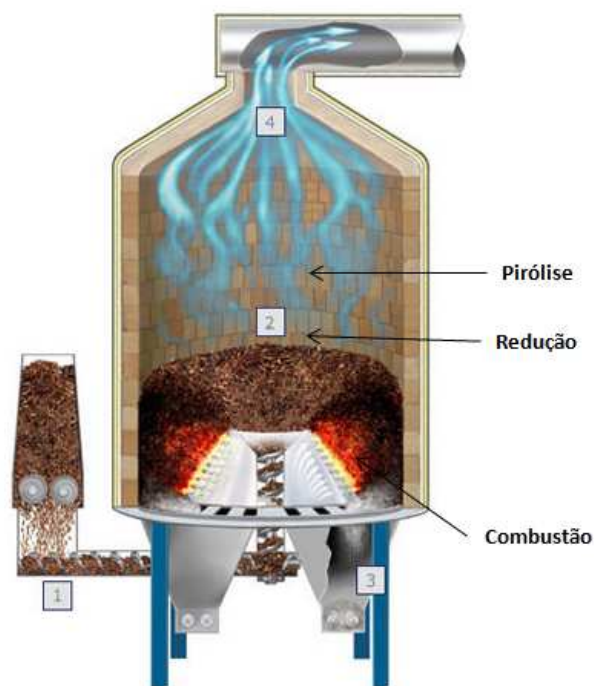


Figura 4. Gaseificador Contracorrente
(NEXTERRA, 2012)

2.2.1.2 Concorrentes (*Downdraft*)

É o tipo de gaseificador mais difundido, tendo sido utilizado inclusive em veículos durante a Segunda Guerra Mundial.

No gaseificador concorrente (figura 5), as zonas de combustão e de redução estão posicionadas de forma oposta aos gaseificadores contracorrente. Com a alimentação de combustível pelo topo, a alimentação de ar é feita em fluxo descendente (mesmo sentido do fluxo de combustível) passando pelas zonas de combustão e redução (CORTEZ; LORA; GOMEZ, 2011).

Seu tipo de arranjo e funcionamento lhe permite uma produção de gás relativamente livre de alcatrão, pois junto com os voláteis provenientes da zona de pirólise são direcionados a passar pela zona de combustão onde, com condições de operação controladas, serão craqueados.

Por outro lado, como o gás é liberado diretamente da zona de redução tende a ter quantidades significativas de cinzas e fuligem, em contraste com o que acontece nos gaseificadores contracorrente onde estas partículas são filtradas quando o gás passa pelo combustível. A temperatura de saída dos gases também tende a ser maior, pois não trocam calor diretamente com as zonas de pirólise e secagem (CORTEZ; LORA; GOMEZ, 2011).

Abaixo, CENBIO (2002) lista as principais vantagens e desvantagens dos gaseificadores co-correntes.

Vantagens:

- Consomem entre 99 a 99,9 % do alcatrão; desta forma o gás gerado pode ser transportado em tubulações e utilizados em motores com um mínimo de limpeza;
- Os materiais inorgânicos ficam retidos na matriz de carvão e cinza retirada pelo fundo dos gaseificadores, reduzindo de forma acentuada a necessidade de ciclones de elevada eficiência e filtros a quente;

- O gaseificador co-corrente é um sistema comprovado, com mais de um milhão de veículos utilizando este sistema durante a Segunda Guerra Mundial;
- O gás (quando limpo) pode ser utilizado em motores de linha, sem maiores modificações;
- Os gaseificadores de topo aberto apresentam poucos problemas em casos de explosão;

Desvantagens:

- O combustível tem de apresentar baixa umidade (<20 %) e granulometria uniforme;
- O gás sai do gaseificador a temperaturas elevadas (em geral 700 °C); desta forma esta energia é perdida, a menos que haja algum aproveitamento (para preaquecimento do ar, secagem do combustível etc.);
- Tipicamente 4 a 7 % do carbono do combustível não é convertido, saindo com as cinzas pelo fundo do gaseificador;
- A potência de pico de motores com ignição a vela é reduzida em 30 a 40 %, a menos que ele seja turbinado;

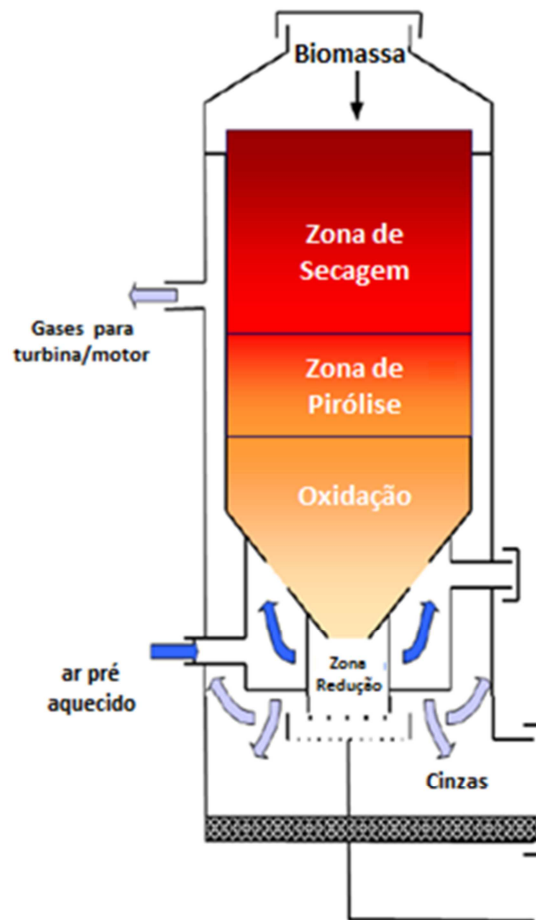


Figura 5. Gaseificador Concorrente
(Adaptado de www.ncl.ac.uk)

2.2.2 GASEIFICADORES DE LEITO FLUIDIZADO

Os gaseificadores de leito fluidizado são classificados em borbulhante ou circulante.

O gaseificador em leito fluidizado é caracterizado por um excelente contato entre sólido e gás, favorecendo as reações que envolvem o processo, possibilitando ainda, uma uniformidade da temperatura do leito (ANDRADE, 2007). A principal vantagem dos gaseificadores de leito fluidizado é o fácil controle da temperatura pela variação na alimentação de ar e de combustível.

Segundo Cortez; Lora e Gomez (2011) nos gaseificadores de leito fluidizado (figura 3), as partículas do combustível são mantidas suspensas em um leito de partículas inertes (areia, cinzas ou alumina) fluidizadas pelo fluxo de ar, criando melhores

condições de transferência de calor e homogeneidade da temperatura na câmara de reação. Nestas condições a maioria dos voláteis estarão em contato com as partículas do leito aquecido, contribuindo para uma gaseificação possivelmente completa e limpa.

Apesar de ainda necessitar de avanços, a gaseificação em leito fluidizado se apresenta bastante promissora, principalmente por conseguirem trabalhar com combustíveis com alta umidade, como é o caso das biomassas. Além disso, é a tecnologia que melhor se adapta a plantas de grande porte, por apresentarem taxas elevadas de produção e troca de calor (COELHO, 2012).

Em seguida, ANDRADE (2007) menciona as principais vantagens e desvantagens dos gaseificadores de leito fluidizado.

Vantagens:

- Tolerância variações da qualidade do combustível;
- Grande tolerância à granulometria do combustível;
- Bom controle da temperatura do leito;
- Rápida resposta a carga;
- Excelente distribuição da temperatura do leito;
- Possibilidade de processo catalítico no leito;
- Moderados níveis de alcatrão no gás produzido;
- Pode operar a carga parcial;
- Alta eficiência de conversão.

Desvantagens:

- Sistema de alimentação;
- Pode haver aglomeração do leito;
- Demora na partida;
- Não é de operação trivial;
- Alta concentração de particulados no gás produzido;

- Perda de carbono com as cinzas.

2.2.2.1 Leito Fluidizado Borbulhante

Um gaseificador com leito fluidizado borbulhante consiste em um recipiente com uma grelha ao fundo pelo qual o ar é introduzido, assim uma corrente de gás com sentido ascendente atravessa a grelha atingindo um leito de materiais de fina granulação onde se encontra a biomassa (GEROSA, 2012). Segundo Nogueira (2009), o gás produzido possui baixa velocidade (menor que 3 m/s) e o sólido não é arrastado pelo gás.

Os gaseificadores de leito borbulhante apresentam a vantagem de uma boa mistura e de alta transferência de calor, que resultam em condições muito uniformes do leito.

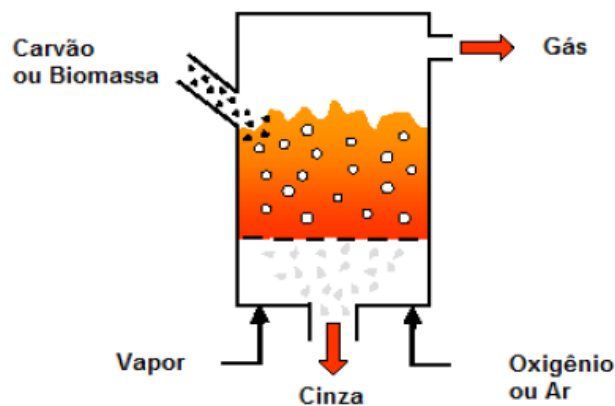


Figura 6. Gaseificador Leito Fluidizado Borbulhante (GEROSA, 2012)

2.2.2.2 Leito Fluidizado Circulante

Gaseificadores de leito fluidizado circulante diferem-se do leito borbulhante pelo fato de não haver uma separação bem definida entre a zona de sólidos densos e a zona de sólidos diluídos (CALLE, 2005). Segundo Nogueira (2009) o gás possui velocidade moderada (de 3 a 6 m/s), onde as partículas grandes não são arrastadas e as pequenas sim, onde há um sistema de reciclo, onde os sólidos são separados do gás e levados de volta ao leito.

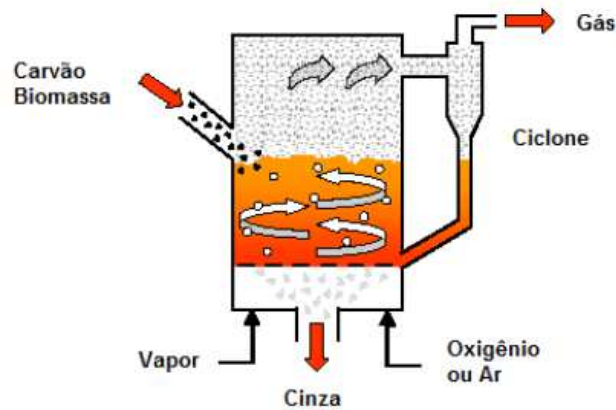


Figura 7. Gaseificador Leito Fluidizado Circulante (GEROSA, 2012)

2.2.3 GASEIFICADORES LEITO DE ARRASTE (*ENTRAINED FLOW*)

Segundo Gerosa (2012) os gaseificadores do tipo leito de arraste (*entrained-flow*) foram desenvolvidos para operar com carvão mineral e atualmente costumam ser selecionados para equipar plantas de IGCC (Integrated Gasification Combined-Cycle). Para este tipo de gaseificador, a matéria prima utilizada deve estar bastante fina (quase pulverizada),

Esta tecnologia tem como principal característica a produção de um gás limpo e sem alcatrão. Isso ocorre devido ao uso de oxigênio, o que permite o equipamento trabalhar com temperaturas em torno do ponto de fusão das cinzas.

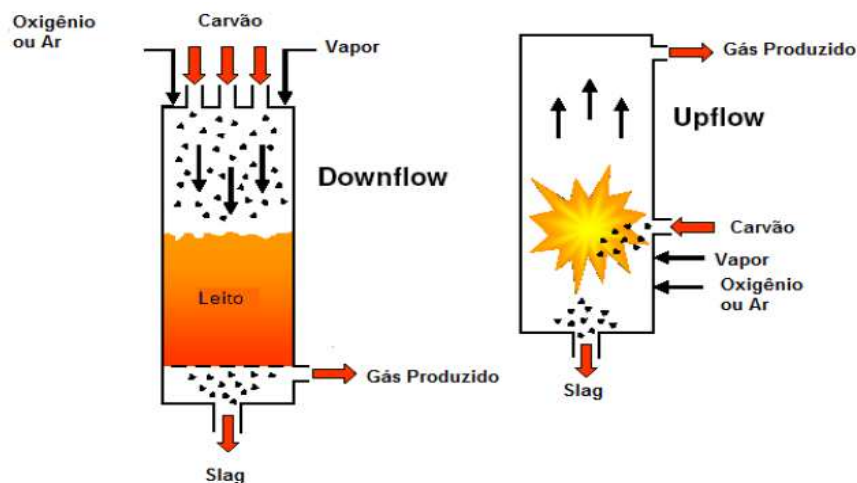


Figura 8. Gaseificador Leito de Arraste (GEROSA, 2012)

O gaseificador de leito de arraste permite que a matéria prima utilizada para alimentar o gaseificador possa estar tanto seca como úmida, o que apesar de ser um ponto positivo, pode-se tornar negativo devido ao fato de que quanto mais umidade (ou teor de cinzas), maior a necessidade de injeção de oxigênio.

Ainda, segundo Gerosa (2012) quando o leito de arraste é desenvolvido corretamente, a conversão do carbono existente no material pode chegar a uma taxa de 99%.

USHIMA lista as principais vantagens e desvantagens dos gaseificadores de leito de arraste.

Vantagens:

- Capacidade de operar a temperaturas (>1.200 °C) e pressões elevadas (~80 bar);
- Baixa formação de CH_4 e alcatrões (sem necessidade de reformadores de metano e alcatrões);
- Cinza sai na fase fundida;
- Utilizado em escala comercial para gaseificação de carvão mineral e óleos residuais.

Desvantagens/Desafios Tecnológicos:

- Material refratário resistente às cinzas de biomassa;
- Desenvolver sistema de alimentação de finos de biomassa (bomba de sólidos);
- Necessidade de desenvolver uma unidade de demonstração, gaseificando bio-óleo ou biolama;

Ainda, de acordo com GEROSA (2012), a maior dificuldade para a utilização de biomassa nesse tipo de gaseificador é devido ao alto custo de preparo da biomassa

para reduzir o teor de umidade e tamanho das partículas para poder ser utilizado como combustível.

2.3 LIMPEZA DO GÁS DE BIOMASSA

A maior dificuldade para geração de energia elétrica utilizando a tecnologia de gaseificação é a limpeza do gás, contaminado principalmente por cinzas, particulados e alcatrão.

O grau de limpeza do gás depende do uso final do gás. De acordo com Sales (2007) a concentração de material particulado deve ser inferior a 50 mg/Nm^3 para motores alternativos de combustão interna, menor que 15 mg/Nm^3 para microturbinas a gás e deve ser abaixo de $0,02 \text{ mg/Nm}^3$ na utilização de gás de síntese.

Existem alguns caminhos para a remoção do alcatrão nos gases: métodos mecânicos, craqueamento catalítico e craqueamento térmico.

Os métodos mecânicos são os ciclones, filtros, lavadores e precipitadores eletrostáticos. O objetivo é capturar o material particulado, porém algumas pesquisas demonstram que estes métodos também são eficientes para remoção de uma parte do alcatrão (SALES, 2007).

Segundo Andrade (2007) O craqueamento térmico também é um método que pode ser utilizado na limpeza do gás, pois a quantidade de alcatrão, nele presente, é dependente da temperatura do leito do gaseificador, portanto, quanto maior a temperatura do leito menor será a presença de alcatrão no gás produzido.

O craqueamento catalítico utiliza de catalisadores para ajudar na remoção do alcatrão. Os catalisadores mais estudados são a dolomita e a olivina os quais tem resultados significativos na redução do alcatrão (ANDRADE, 2007).

Nogueira (2003) faz uma comparação entre os principais sistemas de limpeza dos gases (tabela 1).

Tabela 1 - Comparação entre sistemas de limpeza de gases (NOGUEIRA, 2003)

| Sistema | Vantagens | Desvantagens |
|-------------------------------|---|--|
| Ciclones | Baixo custo | |
| | Operação a alta temperatura | baixa eficiência, sobretudo para partículas de pequena dimensão |
| Lavador de gás | Baixo custo de manutenção | |
| | Trata de particulados inflamáveis e explosivos | corrosão |
| | Remoção de particulados e absorção no mesmo equipamento | Contaminação secundária (produz um efluente líquido a ser tratado) |
| Filtros de mangas | Esfriamento dos gases | |
| | Alta eficiência | Necessita de uma grande área |
| | Separa grande quantidade de particulados | Dano às mangas devido a alta temperatura e gases corrosivos |
| Precipitadores eletrostáticos | Pequena queda de pressão | Perigo de incêndio e explosão |
| | Alta eficiência | |
| | Trata grandes volumes de gases com pequena queda de pressão | Alto custo de investimento |
| Craqueamento térmico | Separação seca e úmida | Pouca flexibilidade |
| | Ampla faixa de temperatura | Necessita de grande área |
| | Baixos custos de operação | |
| Craqueamento catalítico | Controle simples | Perdas no poder calorífico |
| | Baixo custo | Baixa eficiência |
| | Não altera o poder calorífico do gás | Preço do catalisador |
| | Não há resfriamento do gás | Difícil controle |

2.4 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS DE BIOMASSA

O gás de biomassa pode ser utilizado em diversas aplicações, como aproveitamento térmico, geração de energia elétrica e para obtenção de combustíveis líquidos através da síntese de Fischer-Tropsch.

2.4.1 Aproveitamento térmico do gás de biomassa

A queima do gás para geração de calor é a forma mais direta de utilização do gás de biomassa, podendo ser utilizada para geração de vapor de processo e para secagem. Segundo Sanchez a combustão do gás em fornos e fornalhas de geradores de vapor originalmente para combustíveis líquidos e gasosos derivados

de petróleo pode ser realizada sem a necessidade de alterações dramáticas no equipamento

Um exemplo desse tipo de aplicação é a planta de Lahti (Finlândia), a qual queima o gás de biomassa conjuntamente com carvão e gás natural em uma caldeira que fornece vapor para o funcionamento de um ciclo de potência e para aquecimento distrital. Para essa planta houve uma redução em 10% dos índices de emissões de CO₂ devido à implantação da queima do gás de biomassa (ANDRADE, 2007).

2.4.2 Geração de Energia Elétrica

2.4.2.1 Motores de Combustão Interna

A maioria dos projetos de geração de energia elétrica utilizando gás de biomassa utilizam motores de combustão interna.

Segundo Coelho, 2012 ao realizar pequenas modificações, os motores do tipo Otto e Diesel podem ser utilizados com gás produzido pela gaseificação de biomassa. Esse gás pode substituir por completo a gasolina em motores de ciclo Otto e até 85% o diesel em motores ciclo Diesel (SALES, 2007).

Embora o rendimento do motor seja menor que o convencional devido o baixo poder calorífico do gás, os índices de emissões de poluentes são menores devido a biomassa possuir valores muito baixos ou nulos de enxofre na sua composição, assim como para as emissões de NO_x. De acordo com Barros et. al. (2004), a eficiência média do sistema gaseificador - motor de combustão interna está situado na faixa entre 25 a 30%.

2.4.2.2 Motores Stirling

Por ser uma máquina movida por uma fonte externa de calor (combustão externa), não precisa de um gás extremamente limpo, necessitando apenas que tenha a energia adequada para o seu funcionamento, com a temperatura do gás na ordem de 700 a 800°C (ANDRADE, 2007).

Segundo Sales (2007) as pesquisas em torno do motor Stirling têm comprovado uma eficiência na ordem de 30%. Ele pode ser acoplado a um sistema de cogeração com baixo nível de ruído. Embora o motor apresente algumas vantagens, são escassos os dados de confiabilidade e vida útil do mesmo, pois não foram realizados testes em pequena escala com variedade de combustíveis.

2.4.2.3 Turbinas a gás

Uma turbina a gás é uma máquina térmica na qual se aproveita diretamente a energia liberada na combustão, armazenada nos gases produzidos que se expandem gerando eletricidade (SALES, 2007).

Apesar de possuírem uma maior eficiência, o uso de turbina a gás requer um gás extremamente limpo. A presença de alcatrão e particulado no gás pode significar uma redução significativa da vida útil de uma turbina devido à ação corrosiva e abrasiva que os mesmos exercem sobre ela diante das altas rotações e temperaturas atingida durante o seu funcionamento.

A maior dificuldade para projetos de grande porte, utilizando turbinas a gás é justamente a limpeza dos gases da biomassa. Por apresentarem características específicas, precisam passar por tratamentos que muitas vezes inviabilizam o projeto financeiramente.

Outro ponto importante é que as turbinas a gás são projetadas para operar com gás natural, que possui um poder calorífico várias vezes maior que o poder calorífico do gás produto da gaseificação da biomassa. Assim, a turbina a gás necessita de

modificações construtivas na câmara de combustão, a fim de operar com maior volume de gás (UNIUV, 2008).

2.4.3 Síntese de Fischer-Tropsch

A síntese Fischer-Tropsch, foi descoberta em 1925 pelos cientistas alemães Franz Fischer e Dr. Hanz Tropsch e consiste na conversão do gás de síntese em hidrocarbonetos líquidos (LESSA, 2008)

Segundo Lessa (2008) as reações ocorrem sob a superfície do catalisador e o mecanismo pode ser visualizado simplificado na figura 9. Primeiro ocorre a adsorção do CO sobre a superfície do catalisador, em seguida, após a formação do radical metil por dissociação do CO e do hidrogênio, tem início a polimerização por condensação, onde a ocorre a adição de CO e H₂ e liberação de água. Ocorre então a terminação da cadeia e a dessorção do produto da superfície do catalisador.

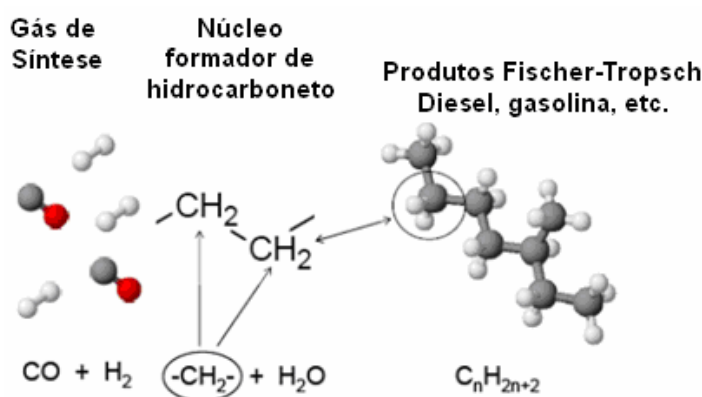


Figura 9. Síntese de Fischer-Tropsch
(Adaptado de LESSA, 2008)

O produto gerado na síntese Fischer-Tropsch é um óleo sintético constituído de uma mistura de hidrocarbonetos com uma mistura muito ampla de pesos moleculares. Para que se possa separar estes produtos é necessário passar por um processo de refino, obtendo diversos produtos como diesel, óleo, solventes, etc.

O diesel produzido pelo processo Fischer-Tropsch tem alto padrão de qualidade, e ao contrário do diesel convencional não apresenta enxofre que pode causar corrosão em motores. Além disso, tem elevado número de cetano, podendo assim ser usado como aditivo de diesel convencional de qualidade inferior (Opdal et al., 2006).

3 PROJETOS DE GASEIFICAÇÃO DE MÉDIO E GRANDE PORTE

Alguns projetos de gaseificação de biomassa têm sido desenvolvidos ao redor do mundo, principalmente América do Norte, Ásia e Europa. Apesar da tecnologia de gaseificação ser conhecida há muito tempo e de certa forma já ser dominada quando se utiliza carvão como combustível, ainda existem problemas em aplicar essa tecnologia para geração de energia elétrica utilizando biomassa.

Ao longo desses anos, diversos investimentos foram realizados e muitos projetos desenvolvidos, porém nenhum de escala comercial obteve sucesso, seja por motivos técnicos ou por problemas financeiros (falência, inviabilidade econômica, etc).

O presente trabalho teve como foco a pesquisa da situação atual do uso de gaseificação de biomassa no mundo, buscando plantas de médio e grande porte com finalidade de geração de energia elétrica.

Para a pesquisa, considerou-se como médio e grande porte gaseificadores com capacidade de geração acima de 2 MW_{el} e que utilizam os seguintes combustíveis: biomassa, lixo, madeira, resíduos.

3.1 Projeto Hawaii Biomass Gasification (Hawaii)

Segundo CENBIO (2002), o objetivo desse projeto era a elevação da escala do gaseificador desenvolvido pelo IGT (IGT RENUGAS), de 2 MW de potência térmica, para 20 MW, onde teria como fonte de alimentação madeira e bagaço de cana.

Na época, o projeto Hawai era o único entre os de grande porte a estudar a gaseificação do bagaço de cana. O projeto compreendia três fases: gaseificação de biomassa, geração de eletricidade, síntese do metanol. A unidade foi construída em Paia, na ilha de Maui, no Hawai, em uma fábrica de açúcar da *Hawaiian Commercial and Sugar Company*. Em 1999 o projeto encontrava-se definitivamente paralisado, em função de dificuldades técnicas principalmente relativas à alimentação do bagaço de cana e limpeza dos gases.



Figura 10. Planta de Maui, Hawaii.
(jenkins.ucdavis.edu/)

3.2 Värnamo (Suécia)

A planta de Varnamo foi construída conjuntamente pela Bioflow, Sydkraft, Forter e funcionou de 1993 a 1999. É uma instalação com um gaseificador de leito fluidizado circulante, pressurizado, acoplado a um ciclo combinado. Foi a primeira planta no mundo a trabalhar inteiramente integrada (CENBIO, 2002). A unidade foi projetada para operar produzindo 6 MWel e 9 MWth, e teve como combustíveis testados: madeiras diversas, casca de árvores, palhas e lixo RDF (HASSUANI, 2009)

Segundo Waldheim Consulting (2012), a gaseificação operou por 8.500 horas e a planta integrada por 3.600 hora, porém foi temporariamente fechada devido à necessidade de uma maior escala da planta para haver competitividade econômica.

Em janeiro de 2012 a Värnamo Energi tornou-se responsável pelo projeto, porém ainda nenhuma decisão oficial sobre o futuro da planta foi anunciada.



Figura 11. Planta de Värnamo, Suécia.
(WALDHEIM, 2012)

3.3 Grève – Chianti (Itália)

Segundo Velazquez (2006) a planta de Chianti, que entrou em operação em 1993, possuía dois gaseificadores de leito fluidizado circulante de 15 MWth de capacidade. Ainda, comenta que a planta original possuía apenas um sistema de limpeza simples de gás (ciclone separador de sólidos), porém em 1998 foi modificada, incluindo uma

segunda linha de combustão e um sistema de limpeza de gás constituído de dois novos ciclones, resfriamento do gás e filtros cerâmicos.

Os gases são queimados em uma caldeira para geração de 6,7 MWel utilizando uma turbina a vapor.

A planta foi fechada em 2004. De acordo com Waldheim Consulting (2012) o motivo foi a construção na região de uma planta de larga escala de geração de energia através de lixo.



Figura 12. Planta de Grève, Chianti, Itália
(WALDHEIM, 2012)

3.4 Kymijärvi - Lahti (Finlândia)

A planta de Kymijärvi entrou em operação no ano de 1998 (IEA, 2012). A capacidade máxima da planta é de 49 MWel, mas varia conforme umidade e poder calorífico do combustível utilizado.

O gaseificador atmosférico LFC, da Foster, foi acoplado a uma caldeira de carvão e consome aproximadamente 300 GWh/ano de diferentes biocombustíveis sólidos e

combustíveis residuais da região de Lahti. O ar utilizado como agente gaseificante é pré-aquecido antes de ser fornecido ao gaseificador.

Segundo IEA (2012) a planta fechou entre 2001/2002, não detalhando o motivo.



Figura 13. Planta de Kymijärvi - Lahti
(www.power-technology.com/projects/kymijarvi/kymijarvi1.html)

3.5 Arbre (Inglaterra)

De acordo com Andrade (2005) é constituída de um Gaseificador de Leito Fluidizado Circulante com craqueamento catalítico do gás o qual é resfriado, filtrado, e lavado em scrubbers, sendo comprimido para utilização em uma turbina a gás Typhoon da Alstom Power.

Segundo Hassuani (2009) a planta de Arbre, Inglaterra, possui capacidade de gerar 8 MWel e foram testados como combustíveis: resíduos florestais e culturas de ciclo curto (Poplar).

O projeto teve alguns problemas técnicos durante o comissionamento e quando estava iniciando a operação o dono da planta faliu (VELAZQUEZ, 2006).



Figura 14. Planta de Arbore, Inglaterra.
(WALDHEIM, 2012)

3.6 Skive (Dinamarca)

O funcionamento da fábrica começou no final de 2007 e, usando um motor a gás, as operações começaram no verão de 2008 (SCHNEIDER, 2012). O segundo e terceiro motores foram instalados em 2008 e agora estão todos operando.

A planta possui capacidade de produzir 11,5 MWth para aquecimento residencial/comercial e 5,5 MW de eletricidade (com 2 motores de aproximadamente 3 MW cada), utilizando cavacos ou pellets de madeira.

De acordo com Schneider (2012), a fábrica de Skive está em operação com 30.000 horas operada até outubro/2012.



Figura 15. Fábrica de Skive, Dinamarca
(SCHNEIDER, 2012)

3.7 Schwarze Pump (Alemanha)

Segundo Picard (2012) a planta pode ser dividida em 3 fases. A primeira de 1950 a 1990, onde o projeto foi concebido para produção de *town gas*. Em 1964 ligou-se o primeiro gaseificador de leito fixo e em 1969 tornou-se a maior planta de gaseificação de lignina, com 24 gaseificadores e produzindo cerca de 5.3 bilhões m³/ano. Após a reunificação da Alemanha, o mercado de *town gas* perdeu lugar para o gás natural.

A segunda fase (1990-2010) trouxe um novo projeto para a planta: gaseificação de lixo com o objetivo de produção de metanol e energia elétrica. Em 1991 começaram-se os testes e em 1995 a planta iniciou sua operação de gaseificação de lixo. Porém em 2007 a planta foi completamente desligada.

A terceira fase, nos dias atuais, utiliza biomassa (cavacos de madeira) para geração de eletricidade. A planta possui capacidade de aproximadamente 5 MWel, utilizando gaseificadores de leito fixo (*downdraft*). A planta está em operação desde maio 2011.

Existe ainda, um projeto para implantação da quarta fase, onde planeja-se a utilização da tecnologia de gaseificação de leito circulante para aumentar a produção de metanol e geração de aproximadamente 20 MWel.



Figura 16. Planta de Schwarze Pumpe após a Segunda Fase (ENVIROTHERM, 2012)

3.8 Movialsa (Espanha)

A planta de Movialsa está situada dentro de uma empresa de vinhos em Ciudad Real, Espanha. O projeto inicial prevê a geração de 5,9 MWel com expansão para 13,8 MWel. A geração da energia elétrica é feita através de três motores Jenbacher de 1.974 kW cada (EQTEC, 2012).

O gaseificador utilizado é um Leito Fluidizado Borbulhante, da empresa EQTEC, e apesar de poder utilizar diversos tipos de biomassa, hoje está trabalhando com os resíduos de biomassa disponíveis na plantação da uva: bagaço de uva, polpa de azeitona e caroços de azeitona.

Segundo EQTEC (2012), a planta já acumula aproximadamente 10.000 horas de operação, com eficiência total de 63,8% (32,2% elétrica e 33,6% térmica).



Figura 17. Fábrica de Movialsa, Espanha.
(EQTEC, 2012)

3.9 Tees Valley (Inglaterra)

Em agosto de 2012 a empresa *Air Products* anunciou a construção da maior planta de gaseificação de resíduos da Inglaterra (*Air Products*, 2012).

Localizada em Tees Valley, a planta produzirá aproximadamente 50 MWel utilizando a tecnologia de gaseificação da ALterNRG e alimentará cerca de 50 mil residências. Os resíduos utilizados serão provenientes de um aterro sanitário, localizado nas proximidades da fábrica.

Segundo a *Air Products*, as aprovações ambientais já foram concedidas e iniciou-se a construção da planta, com previsão de entrada em operação para 2014.



Figura 18. Planta de Tees Valley, Inglaterra.
(www.airproducts.com)

3.10 Outros Projetos

A pesquisa obteve como resultado uma lista com 47 projetos, divididos em: 16 plantas em operação, 23 plantas em projeto/construção e 8 plantas desativadas.

Os EUA predominam na quantidade de projetos, seguidos pela Inglaterra, Áustria, Alemanha e Suécia.

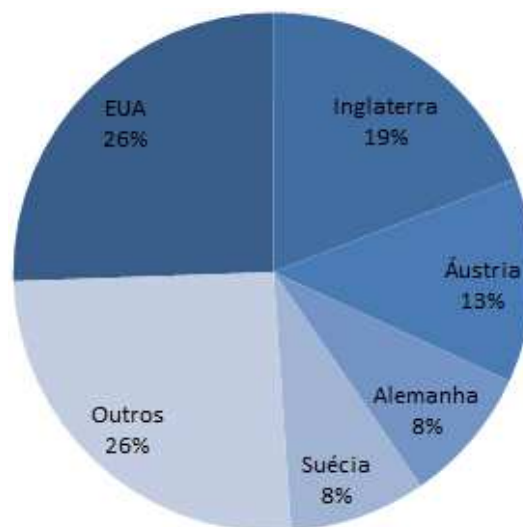


Figura 19. Localização dos projetos de Gaseificação de Biomassa

Os projetos mencionados acima foram os que ganharam maior destaque no meio científico, porém diversos testes foram e estão sendo realizados ao redor do mundo, principalmente nos EUA, Inglaterra, Dinamarca, Alemanha e Áustria.

Para acompanhar o surgimento dessas plantas ao redor do mundo, foi criado um grupo pela IEA (Agência Internacional de Energia), que estuda o desenvolvimento de tecnologias para utilização de biomassa. Dentro desse grupo há um programa específico voltado exclusivamente para gaseificação de biomassa: a Task 33. Fazem parte desse grupo: Áustria, Alemanha, Dinamarca, EUA, Finlândia, Japão, Holanda, Inglaterra Nova Zelândia, Noruega, Suíça, Suécia e Turquia. Anualmente fazem uma atualização da situação da gaseificação de biomassa em seus países, através do relatório *Country Report*.

A tabela 2 mostra alguns projetos que estão sendo realizados ao redor do mundo com gaseificação de biomassa para fins elétricos. As fontes de pesquisa desse trabalho foram diversas, mas basearam-se principalmente nos *Country Reports* disponíveis no site da IEA TASK, onde os *reports* foram enviados por cada país. Também, utilizou-se como fonte de informação o banco de dados do grupo americano *Gasification Technologies Council* e do grupo sueco *SGC - Swedish Gas Centre*.

Outra fonte utilizada foram os fóruns, seminários e conferências sobre gaseificação realizados ao redor do mundo. Destaque para o “*International Seminar on Gasification 2012*”, realizado em pelo SGC em outubro de 2012 na Suécia.

Tabela 2 – Projetos de Gaseificação de Biomassa

| PROJETO | LOCALIZAÇÃO | EMPRESA | TECNOLOGIA | COMBUSTÍVEL | PRODUTO | STATUS |
|--------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------|
| Pfaffenhofen | Alemanha | Agnion | Leito Fluidizado | biomassa, resíduos de madeira | 6,1 MWel; 32,5 MWth | Em operação |
| Großenhain | Alemanha | N/D | Leito Fluidizado | biomassa | 6 MWel; 21 MWth | Projeto |
| Schwarze Pumpe | Alemanha | ZeroPoint | Leito Fixo - Downdraft | biomassa/lixo | 5 MWel com previsão para 20 MWel | Em operação |
| Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm | Alemanha | N/D | FICFB Güssing | biomassa, resíduos de madeira | 4,6 MWel; 15 MWth | Start Up 2013 |
| Wagga Wagga | Austrália | Syngas+Rentech | N/D | N/D | 5 MWel | Em construção |
| Güssing | Áustria | AE&E, Repotec | Leito Fluidizado Circulante | cavacos de madeira | 2 MWel; 8 MWfuel | Em operação |
| Geislingen | Áustria | N/D | N/D | N/D | 3,3 MWel; 10 MWth | Comissionamento |
| Klagenfurt | Áustria | Ortner Anlagenbau | Leito Fluidizado Circulante | biomassa | 5,5 MWel; 25 MWfuel | Projeto |
| Oberwart | Áustria | Ortner Anlagenbau | Leito Fluidizado Circulante | cavacos de madeira | 2,7 MWel; 1-6 MWth | Em operação |
| Senden/Ulm | Áustria | Repotec | N/D | N/D | 5 MWel; 14 MWfuel | Comissionamento |
| Villach | Áustria | Ortner Anlagenbau | Leito Fluidizado Circulante | madeira | 3,7 MWel; 15 MWfuel | Em operação |
| University of British Columbia | Canada | Nexterra | Leito Fixo - Updraft | resíduos de madeira | 2 MWel; 9,600 lbs/hr vapor | Em operação |
| Skive | Dinamarca | Carbona | Leito Fluidizado Borbulhante | pellets e cavacos de madeira | 5,5 MWel; 11,5 MWth | Em operação |
| Movialsa | Espanha | EQTEC | Leito Fluidizado Borbulhante | biomassa (bagaço uva, caroços azeitona, madeira) | 5,9 MWel com extensão para 13,8 MWel | Em operação |
| Kymijärvi - Lahti | Finlândia | Foster Wheeler Energia Ou | Leito Fluidizado Circulante | Resíduos de madeira e plástico | 49 MWel | Desativada em 2001 |

Continuação Tabela 2 – Projetos de Gaseificação de Biomassa

| PROJETO | LOCALIZAÇÃO | EMPRESA | TECNOLOGIA | COMBUSTÍVEL | PRODUTO | STATUS |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|---|----------------------------|--------------------------------|
| Americentrale Fuel Gas Plant | Holanda | Lurgi | Leito Fluidizado Circulante | Biomassa | N/D | Em operação |
| Greve (Chianti) | Itália | TPS | Leito Fluidizado Circulante | RDF pellets | 6,7 MWel | Desativada em 2004 |
| ARBRE | Inglaterra | TPS | Leito Fluidizado Circulante | Resíduos de madeira | 9 MWel | Desativada |
| Banham Power | Inglaterra | N/D | N/D | Cama de Frango | 5,4 MWel | Construção |
| Charlton Energy | Inglaterra | Eco-tran ltd | N/D | Cultura Energéticas e Resíduos florestais | 7 MWel | Projeto |
| Corpach | Inglaterra | N/D | N/D | Resíduos Florestais | 15 MWel | Projeto |
| Enfield | Inglaterra | Kedco | N/D | biomassa | 12 MWel; 10 MWth | Projeto |
| Sustainable Energy Facility | Inglaterra | Enerkem | Leito Fluidizado | Combustível Sólido Recuperado | 13 MWel | Projeto |
| Tees Valley | Inglaterra | AlterNRG | Plasma | biomassa/lixo | 50 MWel | Em construção (Início em 2014) |
| US Department of Veterans Affairs | Inglaterra | Nexterra | Leito Fixo - Updraft | Resíduos de madeira | 2 MWel; 14,000 lb/hr vapor | Início em 2013 |
| Winbeg 1 | Inglaterra | FERCO | N/D | Cultura Energéticas e Resíduos florestais | 22 MWel | Aguardando permissão |
| Newry | Irlanda | ZeroPoint/Kedco | Leito Fixo - Downdraft | biomassa | 3,6 MWel | Projeto |
| Hawai Biomass Gasification | Hawaii | Andritz/Carbona | N/D | biomassa | 2 - 20 MWel | Desativada em 1999 |
| Yamagata | Japan | Babcock&Wilcox Volund | Leito Fixo - Updraft | Cavacos de Madeira | 2 MWel, 8 MWth | Em operação |
| Ishikawa | Japan | Babcock&Wilcox Volund | Leito Fixo - Updraft | Cavacos de Madeira | 2,5 MWel | Em operação |
| Guessing | Suiça | N/D | Leito Fluidizado Circulante | Resíduos de Madeira | 2 MWel; 4,5 MWth | Em operação |

Conclusão Tabela 2 – Projetos de Gaseificação de Biomassa

| PROJETO | LOCALIZAÇÃO | EMPRESA | TECNOLOGIA | COMBUSTÍVEL | PRODUTO | STATUS |
|---|-------------|---|-----------------------------|---|--|---|
| Cortus AB | Suécia | Cortus WoodRoll gasification technology | N/D | Biomassa | 5 MWel com expansão para 25 MWel em 2 anos | Em construção |
| EON Bio2G | Suécia | N/D | N/D | Biomassa | 15-23 MWel; 55 MWth | Em negociação (início em 2016) |
| Göteborg | Suécia | BioSNG | N/D | N/D | 20 MWel; 30 MWth | Projeto |
| Värnamo | Suécia | Foster Wheeler | Leito Fluidizado Circulante | Biomassa | 6 MWel; 8 MWth | Desativada |
| Attleboro Clean Energy Project | EUA | Ze-Gen | N/D | Biomassa | 7 MWel | Projeto finalizado em maio/11 devido ao baixo preço do GN |
| Cabin Creek | EUA | Nexterra | Leito Fixo - Updraft | Resíduo de Madeira | 2 MWel | Projeto (início em 2015) |
| Commercial Demonstration Gasifier, Newton | EUA | ICM Inc. Auger Gasification Technology | N/D | Cavacos Biomassa, palha | 5 MWel | Em operação |
| Ecotech | EUA | Ecotech | Leito Fixo - Downdraft | Biosólidos | N/D | Desativada |
| JCI / USC Gasification System | EUA | Nexterra | Leito Fixo - Updraft | Resíduo de Madeira | 1,4 MWel; 60.000 lbs/hr vapor | Em operação |
| Montgomery | EUA | Taylor Biomass Gasifier | Leito Fluidizado Circulante | Redíduos de Madeira e Lixo | 20 MWel | Em construção |
| Port St. Joe Project | EUA | Rentech-SilvaGas | N/D | Cavacos de Madeira | 55 MWel | Projeto |
| ReVenture Project | EUA | ICM Inc. Auger Gasification Technology | N/D | Biomassa/Lixo | 20 MWel | Projeto |
| Rialto Project | EUA | Rentech-SilvaGas | N/D | Biomassa/Lixo | 35 MWel; 640 barril_combustível/dia | Em construção |
| St Lucie | EUA | Geoplasma | Plasma | Biomassa/Lixo | 22 MWel | Projeto finalizado em 2012 por falta de viabilidade econômica |
| Thermo Electron - Delano I and II | EUA | N/D | N/D | Biomassa | 25 MWel; 32 MWth | N/D |
| Vero Brach | EUA | Ineos Bio | N/D | Biomassa (vegetação e resíduos agrícolas) | 6 Mwel; 8 milhões de galões de combustível/ano | Em operação desde out/12 |

3.11 Projeto IPT 2012 – Gaseificação de Biomassa

Em setembro 2012 foi anunciado durante o Simpósio de Gaseificação de Biomassa, o projeto do IPT de construir uma planta piloto de Gaseificação de Biomassa utilizando a tecnologia entrained flow, com capacidade de processar 1 tonelada de bagaço de cana-de-açúcar por hora, e futuramente projetar uma planta para 100 mil toneladas por hora.

Segundo IPT (2012) ainda existem diversos desafios que precisam ser superados para a implantação de uma planta comercial, principalmente a adaptação das tecnologias existentes para:

- Pré-tratamento de bagaço e palha de cana-de-açúcar (pirólise rápida, torrefação, compactação)
- Sistemas pressurizados de alimentação
- Gaseificação (40bar) e alta temperatura (aprox. 1500°C)
- Limpeza e purificação do gás de síntese

A previsão do IPT é que a tecnologia seja desenvolvida integralmente até 2020.

4 CONCLUSÃO

O trabalho realizado tinha como objetivo verificar a situação atual da tecnologia de gaseificação de biomassa no mundo, voltado para geração de energia elétrica, além de entender as dificuldades enfrentadas com essa tecnologia.

As dificuldades encontradas podem ser resumidas em 4 pontos: limpeza do gás, utilização de turbinas a gás, alimentação da biomassa no gaseificador e competitividade financeira da biomassa.

Um dos maiores problemas enfrentados é na limpeza do gás obtido no gaseificador. Existe a necessidade de remoção dos particulados, alcatrão,

metais alcalinos e outros compostos que podem afetar a operação da turbina a gás. Apesar de existir processos de limpeza, eles são caros e tornam o projeto inviável financeiramente.

As turbinas a gás são projetadas para operar com gás natural, que possuem um poder calorífico muito maior que o gás gerado nos gaseificadores. Dessa forma, a turbina a gás necessita de modificações construtivas na câmara de combustão, com o objetivo de operar com um maior volume de gás.

Outra dificuldade enfrentada é a alimentação da biomassa em gaseificadores pressurizados, além da necessidade de pequenas dimensões da biomassa para a alimentação nos gaseificadores.

Ainda, existe um ponto comum a todas as tecnologias que utilizam biomassa: a própria biomassa. Cada vez mais esse energético está sendo utilizado e reaproveitado, diminuindo sua disponibilidade no mercado e consequentemente aumentando o preço. Além disso, ainda existe uma resistência para o cultivo de biomassa devido à falta de experiência e ao elevado custo, principalmente da plantação, colheita e transporte.

Em relação à pesquisa dos projetos em andamento, observou-se que ainda não existem nenhum de grande porte em funcionamento para geração de energia elétrica utilizando a tecnologia de gaseificação de biomassa. Os projetos de grande porte encontram-se em fase de desenvolvimento e alguns já começaram a construção.

Dos projetos em desenvolvimento, poucos irão utilizar ciclo combinado com turbinas a gás, predominando a utilização de motores.

A maioria dos grandes projetos de gaseificação de biomassa são voltados para utilização com fins térmicos e geração de combustíveis sintéticos e quando o projeto é voltado para geração de energia elétrica utilizam o carvão como combustível.

Quanto a utilização da tecnologia para geração de energia elétrica com biomassa, existem alguns projetos em escala comercial, porém a grande maioria utiliza diretamente motores e não turbinas a gás, o que prejudica o rendimento final do processo.

Existem alguns projetos de grande porte de gaseificação voltados à geração de energia elétrica, porém normalmente utilizam como combustível o carvão ou *co-firing*, misturando carvão e biomassa.

O que pôde ser observado nesse trabalho é que diversos países possuem programas governamentais de incentivo a pesquisas e desenvolvimentos para utilização de energia renovável, e consequentemente biomassa. Muitas universidades desenvolvem projetos de gaseificação de biomassa para geração de energia elétrica, porém ainda não conseguiram atingir escala comercial. Fica evidente que esforços estão sendo feitos e que não demorará muito até que a utilização da biomassa em gaseificação esteja completamente dominada.

5 BIBLIOGRAFIA

AIR PRODUCTS, Inglaterra. Disponível em <[http:// www.airproducts.com](http://www.airproducts.com)>
Acesso em: nov 2012.

ANDRADE, R. V. **Gaseificação de biomassa: Uma análise teórica e experimental**. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

BARKER, N. **Country Report United Kingdom**. Disponível em:
<http://www.ieatask33.org/content/country_reports> Acesso em: ago 2012

BARRROS, R. W.; COBAS, V. R. M. ; Aradas, M. E. C. ; LORA, E. E. S. **Uso de Biomassa como Combustível para Acionamento de Motores Stirling**. Campinas. Agrener, 2004.

BELGIORNO, V.; DE FEO, G.; DELLA ROCCA, C.; NAPOLI, R. M. A. **Energy from gasification of solid wastes**. Waste Management, v. 23, p. 1-15, 2003.

CALLE, F. R.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da Biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: Unicamp, 2005.

CARDOSO, M. T. **Revisão das experiências históricas do processo de gaseificação e desafios atuais, sob a perspectiva brasileira**. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). **Comparação entre tecnologias de gaseificação de biomassa existentes no Brasil e no exterior e formação de recursos humanos na região norte: Estado da arte da gaseificação**. 2002. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

COELHO, S.T. **Barreiras e Mecanismos para Implementação de um Programa de Larga Escala de Cogeração a Partir de Biomassa. Uma**

Proposta para o Estado de São Paulo.1999. Tese (Doutorado) - Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP.

COELHO, S. T. **Uso de biomassa, biodigestores e biogás.** Programa de Educação Continuada – Escola Politécnica da USP, 2012. Notas de aula do curso Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

CORTEZ, L. A. B.; LORA E. E. S.; GÓMEZ E. O. **Biomassa para energia.** Campinas: Unicamp. 2011

ENVIROTHERM. Gasification Technologies at Schwarze Pumpe Site.

Disponível em:

<http://www.handelskammer.se/sites/handelskammer.se/files/9_Praesentation_Debiom.pdf> Acesso em Out 2012.

EQTEC. **Integrated Biomass Gasification CHP Plants.** In International Seminar on Gasification, Outubro 2012, Suíça.

GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL. **World gasification database and library.** Disponível em: <<http://www.gasification.org>> Acesso em: ago 2012

GEROSA, T. M. **Desenvolvimento e aplicação de ferramenta metodológica aplicável à identificação de rotas insumo-processo-produto para a produção de combustíveis e derivados sintéticos.** 2012. Tese (Doutorado) – USP, São Paulo, 2012.

GTC KINGSPORT WORKSHOP, 2012, Kingsport. **Brief Overview of Gasification Industry.** Disponível em: <<http://www.gasification.org>> Acesso em: ago 2012.

HASLER, P.; NUSSBAUMER, Th. **Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification.** Biomass and Bioenergy. v. 16, p. 385 – 395, 1999.

Hassuani, S. J. **Desafios da gaseificação na geração de energia no setor sucroenergético**. In BIOENERGIA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE NEGÓCIO, Painel 2: Perspectivas de Tecnologias de 2ª Geração, Agosto 2009, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

IEA BIOENERGY TASK 33. **Thermal gasification facilities – Database**. Disponível em: http://www.ieatask33.org/content/thermal_gasification_facilities Acesso em: ago 2012.

IEA BIOENERGY TASK 33. **Country Report Finland**. Disponível em: http://www.ieatask33.org/content/country_reports Acesso em: ago 2012

IEA BIOENERGY TASK 33. **Country Report Germany for IEA Task 33 Thermal Gasification of Biomass**. Disponível em: http://www.ieatask33.org/content/country_reports Acesso em: ago 2012

IEA BIOENERGY TASK 33. **Country Report Denmark**. Disponível em: http://www.ieatask33.org/content/country_reports Acesso em: ago 2012

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). <http://www.ipt.br> Acesso em out 2012.

IRENA (International Renewable Energy Agency). **Renewable energy technologies: Cost analysis series**. 2012.

LESSA, J.H.P. **Análise técnico-econômica do processo btl (biomass-to-liquid) pela Síntese Fischer-Tropsch no Brasil**. Programa Escola de Química/Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro. 2008

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; ARADAS, M. E. C. **Geração elétrica em pequena escala a partir da gaseificação de biomassa**. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

MENDOZA, M. A. G. **Projeto e avaliação computacional do desempenho de um gaseificador de leito fluidizado circulante para obtenção de gás de síntese a partir de bagaço de cana de açúcar.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY (NETL). **Worldwide Gasification Capacity.** Disponível em: <<http://www.netl.doe.gov/>> Acesso em: ago 2012.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **USA Biomass Gasification Status.** Disponível em: <<http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/2012/USA.pdf>> Acesso em: ago 2012.

NETO, V. C. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural.** 2001. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

NEXTERRA. Canadá. The Next Generation of Industrial Gasification Systems.<<http://www.nexterra.ca>> Acesso em: ago 2012.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações.** 2ª edição, 2003

NOGUEIRA, M. F. M. **Arranjo mega-gaseificadores.** Aula ministrada na II Escola de Combustão de São José dos Campos, SP, em 22 a 26 de junho de 2009. Disponível em <<http://www.redenacionaldecombustao.org/escoladecombustao/arquivos/EDC2009/gaseificacao/>>, acessado em 10.10.2012.

OPDAL, O.A., SKREIBERG, O. **Production of synthetic biodiesel via Fischer-Tropsch synthesis.** Noruega, 2006

PICARD, L. **Development Status of BGL-Gasification**. In International Freiberg Conference on IGCC & Xtl Technologies, Junho 2005.

REDE NACIONAL DE COMBUSTÃO. Palestras. Disponível em: <<http://www.redenacionaldecombustao.org/escoladecombustao/arquivos/EDC2009/gaseificacao/>> Acesso em ago 2012.

RAUCH, R; VIENNA, J. H. **Gasification Survey Country: Austria**. 2011. Disponível em: <http://www.ieatask33.org/content/country_reports> Acesso em: ago 2012.

SALES, C. A. V. B. **Avaliação técnico econômica da conversão da biomassa em eletricidade utilizando tecnologias de gaseificação**. 2007. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SANCHEZ, C.G. **Tecnologia da Gaseificação**. Faculdade de Engenharia Mecânica Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos, UNICAMP, Campinas.

SCHNEIDER, M. **Power Generation from Biomass Gasification with Gas Engines - Requirements and Experiences**. In International Seminar on Gasification, Outubro 2012, Suíça.

SWEDISH GAS CENTRE (SGC). Suécia. **Biomass Gasifier Database**. Disponível em: <<http://www.sgc.se>> Acesso em ago 2012.

SWEDISH ENERGY AGENCY REPORT. **Small Scale Gasification: Gas Engine CHP for Biofuels**. 2011. Disponível em: <http://www.ieatask33.org/content/country_reports> Acesso em: ago 2012

USHIMA, A. H. **Gaseificação de Biomassa: Rota BTL**. Disponível em <http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/seminbioenergia/ademarushima_2608.pdf> Acesso em: ago 2012

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, DOE. **2010 Worldwide gasification database.** Disponível em: <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/worlddatabase/index.html>>. Acesso em: ago 2012.

UNIUV – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE UNIÃO DA VITÓRIA. **Propriedades e produtos energéticos da madeira.** Vitória, 2008.

VELAZQUEZ, S. M. S. G. **Perspectivas para a geração de excedentes de energia elétrica no segmento de papel e celulose com a utilização de sistemas de gaseificação/turbinas a gás.** 2006. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Waldheim Consulting. **Country Report Sweden 2012.** Disponível em: http://www.ieatask33.org/content/country_reports> Acesso em: ago 2012

WALTER, A. C. S. **Incentivos econômicos e ambientais para a difusão de tecnologias avançadas no setor sucroalcooleiro.** 1994. Tese (Doutorado) – UNICAMP, Campinas, 1994.

Walter, A. C. S. **Incentivos Econômicos e Ambientais para a Difusão de Tecnologias Avançadas de Conversão de Biomassa.** Relatório Semestral apresentado à FAPESP (Pós-doutorado), National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 1997. In “GUIA DO INVESTIDOR EM BIOMASSA”, Ed. ANEEL/CENBIO, 1998 (cd-rom)