



INETI

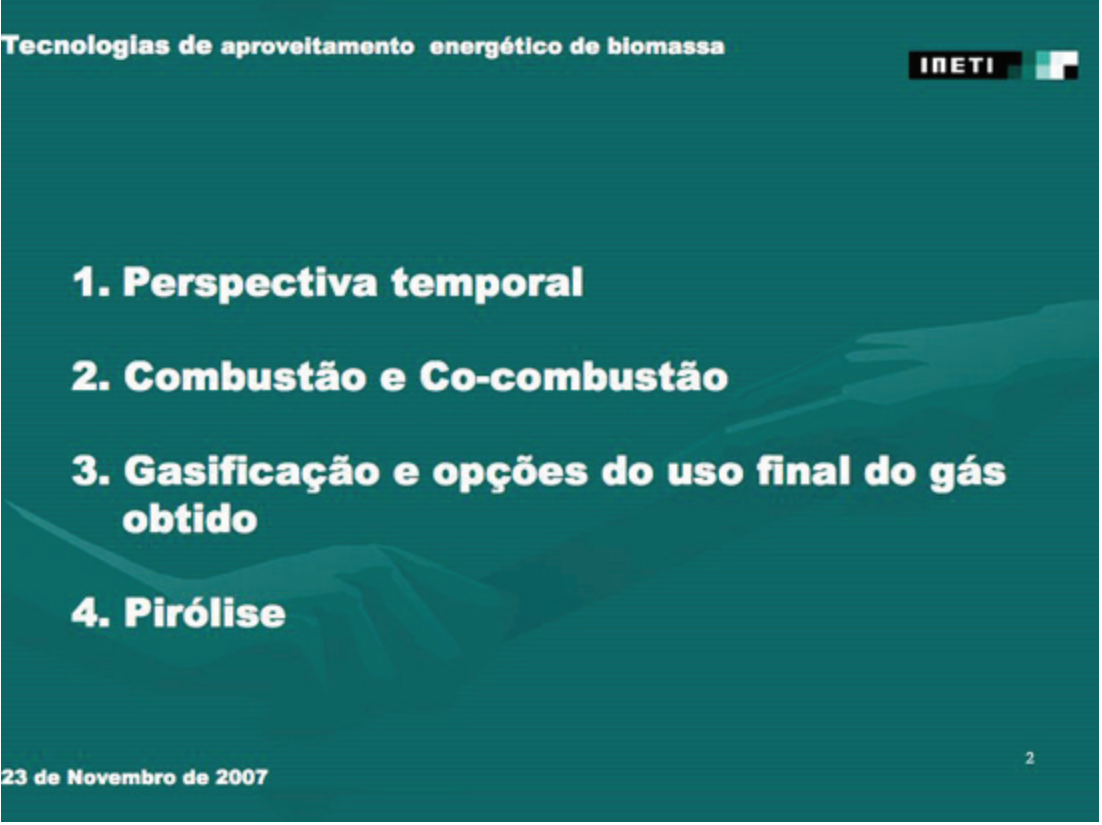
Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

Prof. Ibrahim Gulyurtlu
DEECA - INETI

" Integração de Processos, Cogeração e Biomassa "
Hotel dos Templários, TOMAR

23 de Novembro de 2007

1



Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

- 1. Perspectiva temporal**
- 2. Combustão e Co-combustão**
- 3. Gasificação e opções do uso final do gás obtido**
- 4. Pirólise**

23 de Novembro de 2007

2

1. Perspectiva temporal

**Desenvolvimentos no curto prazo –
Combustão e Co- combustão**

**Desenvolvimentos no médio prazo –
Gasificação e o uso do gás para a energia,
através motores e turbinas**

**Desenvolvimentos no longo prazo –
Gasificação, o uso do gás em pilhas de
combustível e a produção de combustíveis líquidos**

Combustão de biomassa



Vantagens da utilização da biomassa

1. É mais facilmente gasificar ou queimar biomassa que o carvão, sob as mesmas condições operatórias;
2. A biomassa contém menos cinza (< 2%), praticamente não tem enxofre e apresenta uma boa razão H/C, igual a cerca de 1,44;
3. A composição em termos de carbono, hidrogénio e oxigénio pouco varia com a origem da biomassa (aproximadamente $\text{CH}_{1,44}\text{O}_{0,66}$);
4. É uma fonte de energia renovável, cujos resíduos se encontram imediatamente disponíveis.

Desvantagens da utilização da biomassa

1. Meios logísticos envolvidos na recolha e no transporte, o que pode aumentar o seu custo;
2. A biomassa pode apresentar quantidades importantes de água (20 a 50%), dependendo do tempo decorrido entre o corte e a utilização;
3. Apresenta-se numa forma dispersa, tem uma densidade baixa, além da sua apresentação em tamanho e forma ser variável que pode aumentar o custo de preparação do combustível.
4. Problemas relacionados com a natureza das cinzas que podem causar “fouling” e corrosão, resultante da presença de alcalinos como K, Na e elementos com Cl.

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

Os principais tipos de combustão de biomassa na indústria

```
graph LR; COMBUSTÃO --> Leito_fixo[Leito fixo]; COMBUSTÃO --> Leito_fluidizado[Leito fluidizado]; COMBUSTÃO --> Sólidos_pulverizados[Sólidos pulverizados]; Leito_fixo --> Sistema_Grelha[Sistema Grelha]; Leito_fixo --> Grelha_abaxo[Grelha com alimentação abaixo da grelha]; Leito_fluidizado --> Borbulhante[Borbulhante (BFB)]; Leito_fluidizado --> Circulante[Circulante (CFB)]; Outro[Outro: Conceito Whole Tree®];
```

23 de Novembro de 2007

7

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

Problemas relacionados com a queima de biomassa

Composição do combustível	Efeito
S	SO ₂
Ca	NH ₃ , NO, N ₂ O
N	dioxinas + furanos
Cl	Formação de depósitos e corrosão nos tubos dos sobreaquecedores
Cu	Formação de depósitos e corrosão nos tubos dos sobreaquecedores
Na+K	Aglomeração do leito
Zn	Destino dos metais pesados
Si	Destino dos metais pesados
Metais pesados	Destino dos metais pesados

23 de Novembro de 2007

8

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

Combustão sobre grelha

FORNALHA

Superfície do leito

Cinzas

Frente da ignição

Leito fixo do combustível (secagem + desvolatilização)

V grate

grelha

Ar primário

23 de Novembro de 2007

9

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

Opções de queima sobre grelha

- Fluxo em contra-corrente (propagação da chama em direcção oposta à do combustível)
- Fluxo cruzado (remoção dos gases de exaustão no meio da fornalha)
- Fluxo em co-corrente (propagação da chama na mesma direcção do combustível)

Co-current

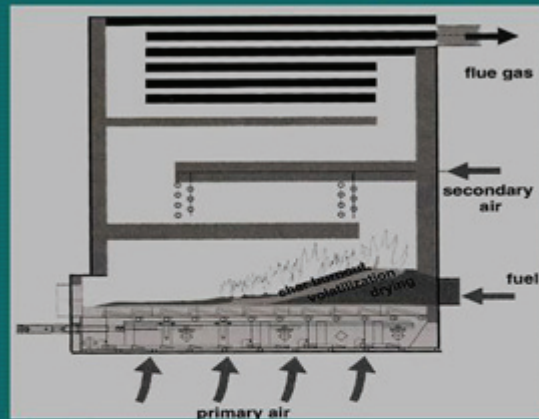
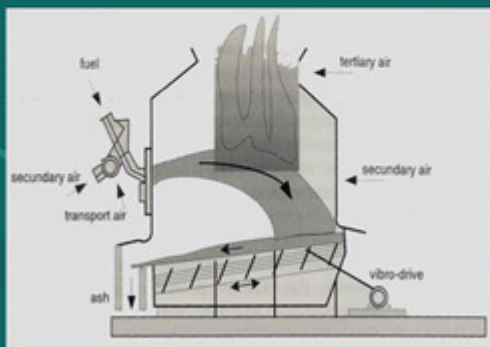
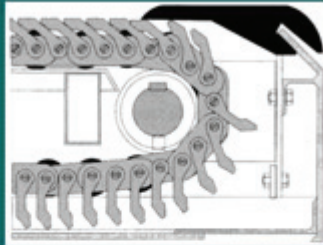
Cross-current

Counter-current

23 de Novembro de 2007

10

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

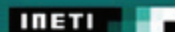


Alguns exemplos de diferentes tipos de grelha

23 de Novembro de 2007

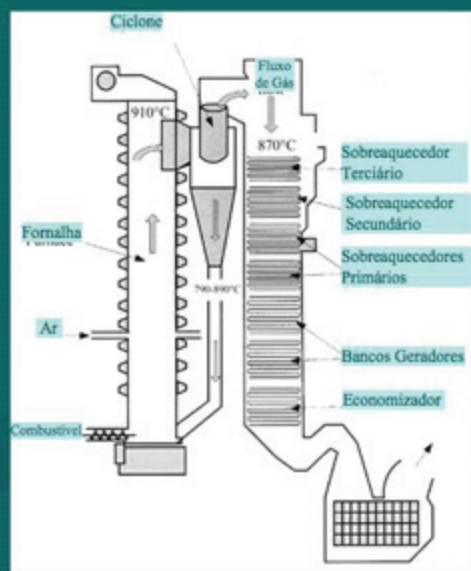
11

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa



Leitos Fluidizados Circulantes (LFC)

- Instalações > 30 MW_{term.}
 - Circulação do leito resulta
 - No aumento da velocidade do gás para 5-10 m/s
 - Na redução da granulometria das partículas de areia para 0,2-0,4 mm (material do leito)
 - A areia é transportada pelos gases de combustão, é separada ou em ciclones quentes, ou no separador tipo válvula L, e é reciclada para o LF
 - Leito T: 800 - 900 °C, controlada pelo
 - Permutador externo, arrefecimento da areia reciclada, ou
 - Tubos membranos nas paredes
 - Maior turbulência no LFC do que no LFB → melhor transferência de calor e a distribuição muito uniforme da T no leito
- Resultante:
- Condições estáveis de combustão
 - Controle da entrada do ar em andares
 - Localização dos permutadores na parte de cima da fornalha



23 de Novembro de 2007

12

Actividades na UE sobre co-combustão de biomassa

- Países da UE já definiram o objectivo de utilização de 5 – 12% de biomassa para produção de energia eléctrica
- No curto prazo, os objectivos só podem ser atingidos através da co-combustão com biomassa
- Na Holanda, co-combustão já é utilizada em todas as centrais térmicas com carvão, usando biomassa equivalente a cerca de 5% de energia na entrada
- 150 caldeiras de leito fluidizado na Escandinávia utilizam biomassa como combustível secundário, que inclui serradura, estilha, resíduos florestais
- Centrais térmicas de PC (Lenhite e carvão) na Alemanha: lamas de ETAR, palha e estilha

Incentivos para co-combustão com biomassa

- Co-combustão de biomassa com carvão pode beneficiar dos rendimentos elevados obtidos em centrais térmicas a carvão
- Melhoramento de eficiência da combustão por causa do elevado teor em matéria volátil na biomassa
- Criação de postos de trabalho

Incentivos para co-combustão com biomassa (Cont.)

- **Redução em emissões dos gases de estufa e dos outros poluentes;**
- **Co-combustão em centrais térmicas com carvão pode muito favoravelmente encorajar o uso de biomassa;**
- **Opção com custo mais baixo para o uso de biomassa em larga escala para produção de energia eléctrica**

23 de Novembro de 2007

17

Barreiras técnicas

- **Disponibilidade e flexibilidade do combustível (qualidade, quantidade);**
- **Combustão completa e mistura eficaz no interior da caldeira;**
- **Problemas de “Fouling” e corrosão em caldeiras (alkalis, cloro);**
- **Utilização de cinzas (carbono inqueimado, contaminação);**
- **Impacto negativo em relação à limpeza dos gases (SCR e DeNO_x)**

23 de Novembro de 2007

18

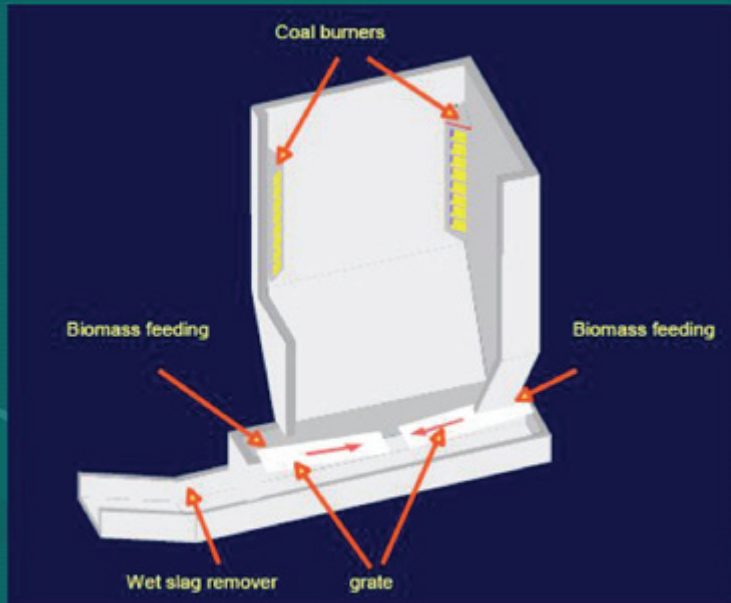
Barreiras não técnicas

- **Considerações económicas (falta de incentivos financeiros, incerteza sobre os preços dos combustíveis, mercado livre)**
- **Aspectos legislativos (utilização de cinzas volantes no sector de cimenteira, determinação do grau de contribuição de energia verde, legislação sobre emissões)**
- **Aceitação pública do conceito da co-combustão de biomassa com carvão**

Conceitos da co-combustão:

- **Co-combustão directa em centrais térmicas com carvão**
- **Co-combustão indirecta com pré-gasificação**
- **Co-combustão indirecta em centrais térmicas com gás**
- **Co-combustão paralela acoplado ciclo de vapor**

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa



**Exemplo
do conceito
da
co-combustão**

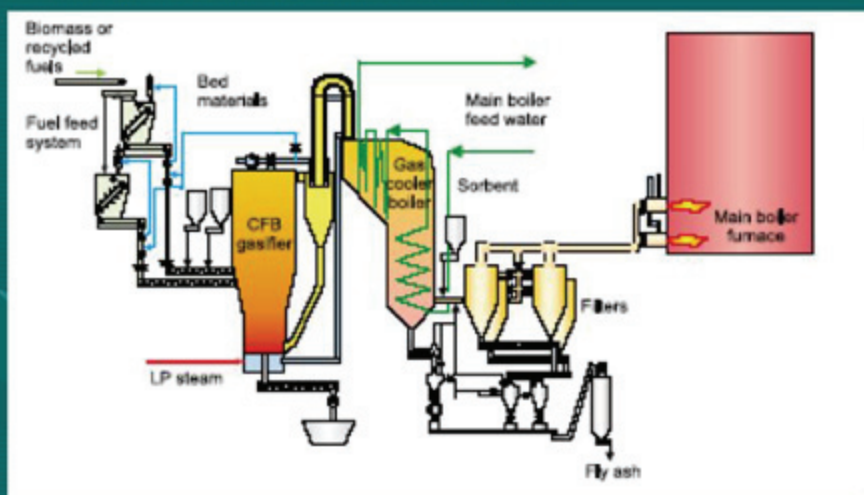
23 de Novembro de 2007

21

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa



O projecto da Foster Wheeler



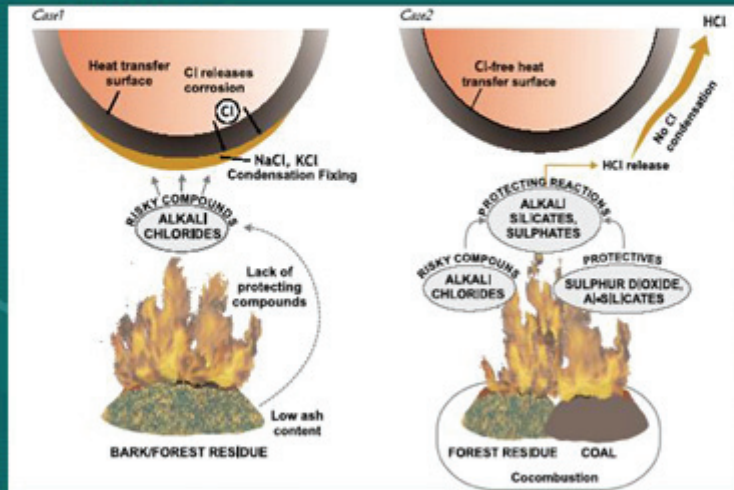
23 de Novembro de 2007

22

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa



O exemplo da sinergia conseguida durante a co-combustão



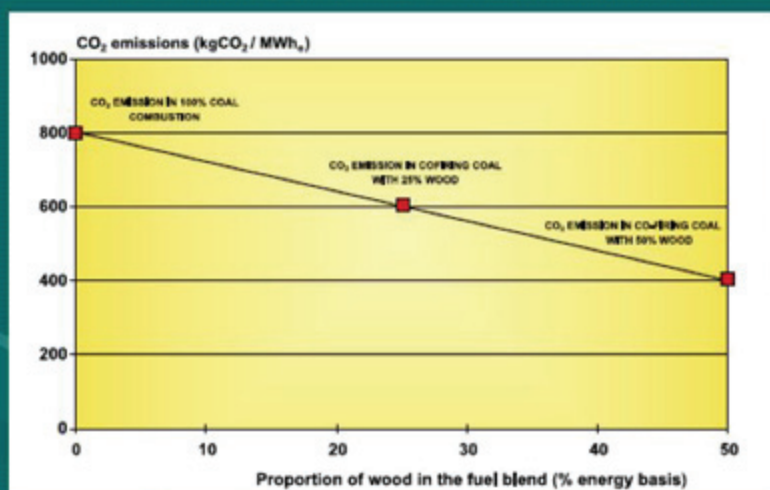
23 de Novembro de 2007

23

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa



Redução teórica do CO₂ com a adição de biomassa ao carvão durante a co-combustão



23 de Novembro de 2007

24

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

Efeitos da sinergia

Composição do combustível	Efeito
S	SO ₂
Ca	SO ₂
Cl	Formação de depósitos e corrosão nos tubos de sobreaquecedores
Na+K	Formação de depósitos e corrosão nos tubos de sobreaquecedores
Na+K	Aglomeração do leito
Si	Aglomeração do leito
Kaolin presente na cinza	Aglomeração do leito

23 de Novembro de 2007

25

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

O projecto "COPOWER"

SYNERGY EFFECTS OF CO-PROCESSING OF BIOMASS WITH COAL AND NON-TOXIC WASTES FOR HEAT AND POWER GENERATION

Coordinator: INETI

Person to contact: Ibrahim Gulyurtlu
ibrahim.gulyurtlu@ineti.pt
Tel: + 351 210924789

23 de Novembro de 2007

26

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI
INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



COPOWER

Logos of partner institutions: CARMONA, Sabanci Universitesi, TUHH, Enel Produzione, CHALMERS, STADTWERKE DUISBURG AG, Imperial College London, and UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA.

23 de Novembro de 2007 27

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

Sistema Global de Gasificação de Biomassa

- Para o sistema global de gasificação é necessário:
 - Conhecer as propriedades do biocombustível sólido
 - Optimizar o gasificador com o objectivo para minimizar da formação de alcatrões e de partículas sólidas (poeiras)
 - Integrar o calor produzido no processo com o sistema de gasificação
 - Evitar um *layout* complexo e caro, isto é dever-se-á simplificar os sistemas de gasificação o mais possível
 - Minimizar a produção de resíduos, tal como o fluido de lavagem contaminado
 - Maximizar a produção de electricidade com elevada eficiência global eléctrica
 - Utilizar o excesso de calor para o aquecimento do sistema

23 de Novembro de 2007 28

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

Tipos de gasificadores

The diagram illustrates three types of gasifiers. 1. Gasificador tipo "updraught": Biomass enters from the top, and the gasification agent enters from the bottom. The gas exits from the top. 2. Gasificador tipo "downdraught": Biomass enters from the top, and the gasification agent enters from the bottom. The gas exits from the bottom. 3. Gasificador tipo leito fluidizado borbulhante: Biomass enters from the top, and the gasification agent enters from the bottom. The gas exits from the top.

Gasificador tipo "updraught" Gasificador tipo "downdraught" Gasificador tipo leito fluidizado borbulhante

23 de Novembro de 2007

29

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

The diagram illustrates two types of gasifiers. 1. Gasificador tipo leito fluidizado circulante: Biomass enters from the top, and the gasification agent enters from the bottom. The gas exits from the top. 2. Gasificador tipo "entrained flow": Biomass enters from the top, and the gasification agent enters from the bottom. The gas exits from the top.

Gasificador tipo leito fluidizado circulante Gasificador tipo "entrained flow"

Legend:
Biomassa (black arrow)
Agente da gasificação (yellow arrow)
O gás obtido (grey arrow)

23 de Novembro de 2007

30

Os parâmetros que influenciam a qualidade do gás obtido

- O sistema da gasificação
- O tipo e a forma de biomassa utilizado
- O tipo e a quantidade do agente da gasificação utilizado
- Temperatura da gasificação
- Pressão no reactor de gasificação
- A utilização de catalisadores

	Gasificador tipo "Downdraught"	Gasificador tipo "Updraught"	Gasificador do leito fluidizado	Gasificador do tipo "entrained flow"	As exigências do motor
Partículas mg/m ³	<20	200	5000-10000	<50	<50
Alcatrões mg/m ³	100-150	12000	2000	<50	<10
Halogéneos mg/m ³	Dependente do combustível	Dependente do combustível	Dependente do combustível	Dependente do combustível	<100
S-comp. mg/m ³	Dependente do combustível	Dependente do combustível	Dependente do combustível	Dependente do combustível	<2000
N-comp mg/m ³	20-140		1200-1500		<55

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa **INETI**

Componentes do gás produzido & Tecnologias de Limpeza do gás

COMPONENTES	TECNOLOGIAS PARA LIMPEZA DO GÁS
Partículas Sólidas (poeiras)	Ciclone
Alcatrões	Filtro de mangas
Componentes N	Filtro Electrostático
Etc.	Scrubber de água
	Catalisador
	Etc.

Existem várias tecnologias para limpeza de gases disponíveis.
Apenas algumas destas permitem o aprovisionamento de um gás limpo; muitas destas tecnologias são utilizadas em modo integrado.
O processo tecnológico é parcialmente bem desenvolvido.

23 de Novembro de 2007 33

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa **INETI**

Componentes do gás produzido & Tecnologias de Limpeza do gás

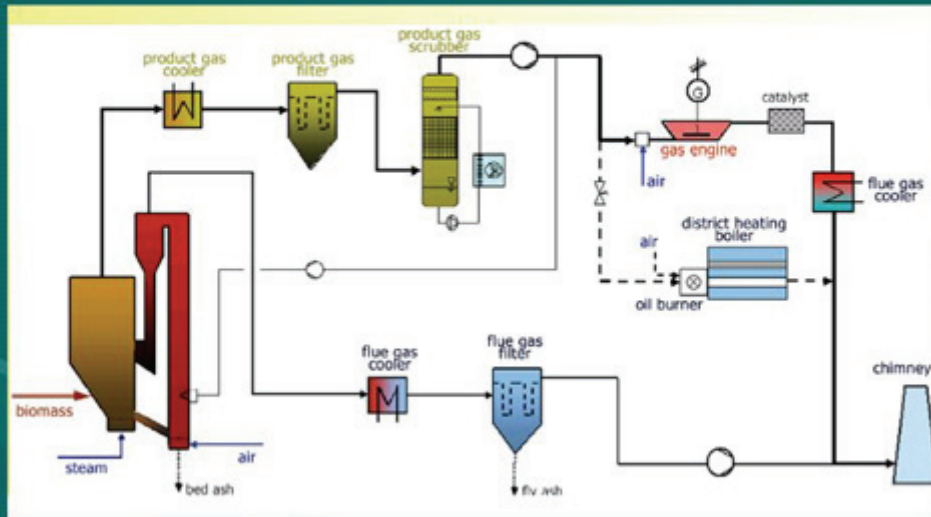
- Dependendo da composição do gás produzido, existirão diferentes tecnologias disponíveis.
- Exemplo Scrubber de água:
 - Elevada remoção de partículas sólidas (poeiras)
 - Remoção de alcatrões depende da temperatura (frequentemente não satisfatória)
 - Produção de grandes quantidades de água de lavagem contaminada
- Exemplo Filtro Electrostático Molhado:
 - Elevada remoção de partículas sólidas (poeiras)
 - Elevada remoção de alcatrões
 - Condensação de alcatrões não acarretam problemas
- Limpeza de gases tem que ser otimizada de acordo com a qualidade de gás disponível (do gasificador) e a procura a partir da unidade utilizada pelo gás (e.g. engenharia).

23 de Novembro de 2007 34

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa



O exemplo da utilização de gasificação para a produção de energia eléctrica de 2 MW_e – Gussing/Austria



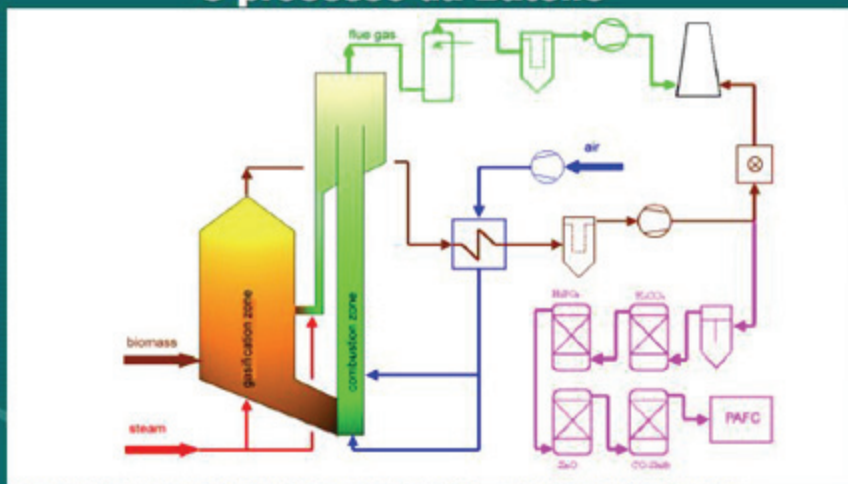
23 de Novembro de 2007

35

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa



O processo da Batelle

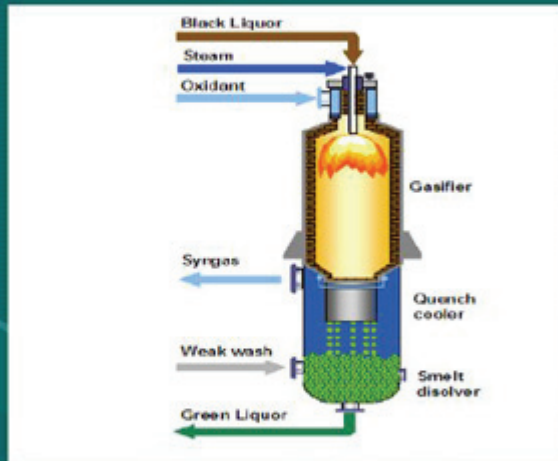


H₂ = 30-45, CO = 20-30, CO₂ = 15-25, CH₄ = 8-12 vol.%, N₂ = 1-5,
 (NH₃ = 500-1000 ppm, H₂S = 20-50 ppm, Alcatrões = 0,5-1,5 g/Nm³,
 Partículas = 10-20 g/Nm³)

23 de Novembro de 2007

36

Processo Chemrec



O processo aplica-se à gasificação de licor negro "black liquor" desenvolvido na Suécia. Pode funcionar sob pressão até 40 bar.

PROCESSO DE FISCHER-TROPSCH

- Fischer e Tropsch demonstraram que a hidrogenação do monóxido de carbono (CO) sobre catalisadores de Ferro (Fe), Cobalto (Co), ou Níquel (Ni), a 180-250°C e à pressão atmosférica, dá origem a uma mistura de vários hidrocarbonetos.
- Este método foi otimizado para usar Fe e Co, a 200-300°C e a 10-60 bar de pressão.

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

PROCESSO DE FISCHER-TROPSCH

BIOMASSA FLORESTAL

Electricidade & Calor

Hidrocarbonetos Leves

'Green' Diesel

Gaseificação

Líquido de Gases

Síntese Fischer-Tropsch

23 de Novembro de 2007

39

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa

INETI

No processo F-T, ocorrem 3 reacções principais

- Os dois principais produtos são parafinas, que são hidrocarbonetos saturados, e olefinas, tratando-se de hidrocarbonetos insaturados
- A regulação da razão H_2/CO é muito importante para que a reacção "shift" gás-água tenha lugar

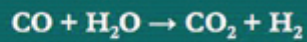
Reacções principais

1. Parafinas	$(2n+1) H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O$
2. Olefinas	$2nH_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n} + nH_2O$
3. Reacção "shift" gás-água	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$

23 de Novembro de 2007

40

Reacção “Shift” Gás – Água



- Gera uma situação de equilíbrio quando as quantidades de Hidrogénio não são estequiométricas
- Usa H_2O , produto da reacção F-T ou água de outra fonte, reagindo com CO, aumentando a razão entre o H_2 e o CO
- É útil apenas na presença de catalisador de Fe, desprezável ao usar catalisador de Co ou Ru

Produtos

Combustíveis produzidos pelo processo F-T são de elevada qualidade devido à baixa aromaticidade e teor zero em enxofre

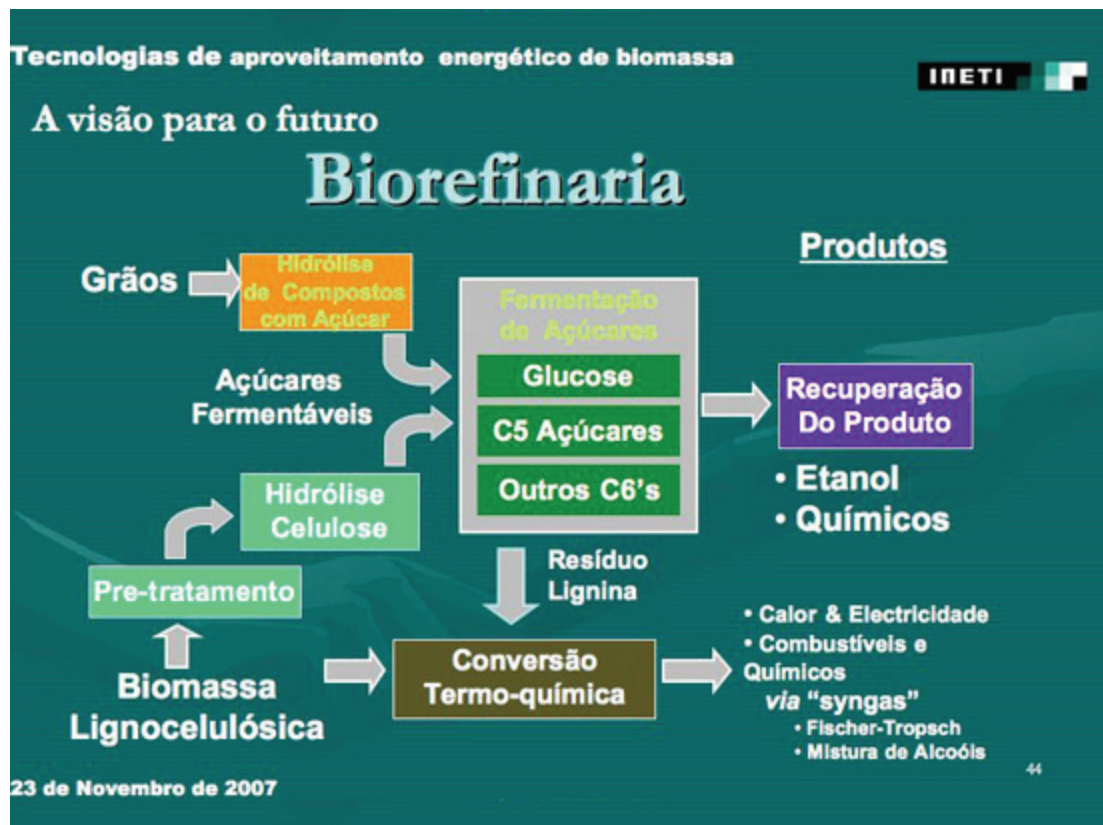
- Gás Combustível (C1-C2)
- Gasolina
- Petróleo de Iluminação (Querosene)
- Jet Fuel
- Diesel
- Cera mole e dura

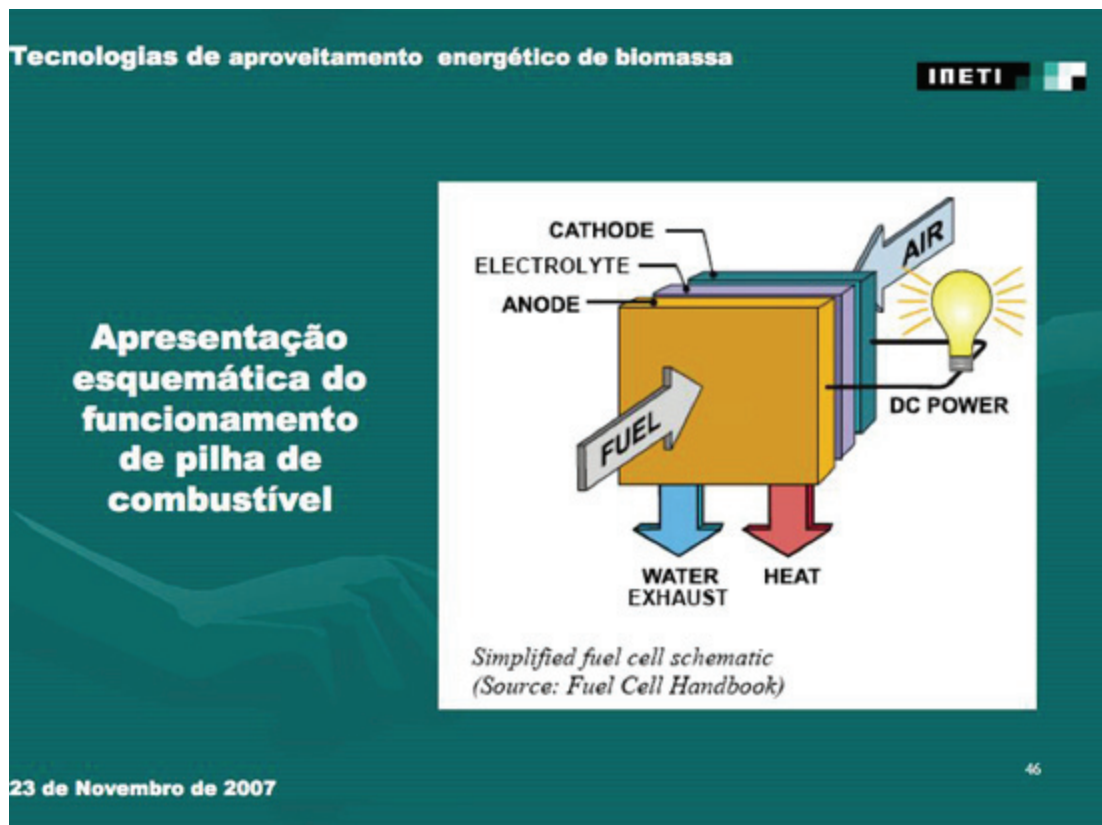
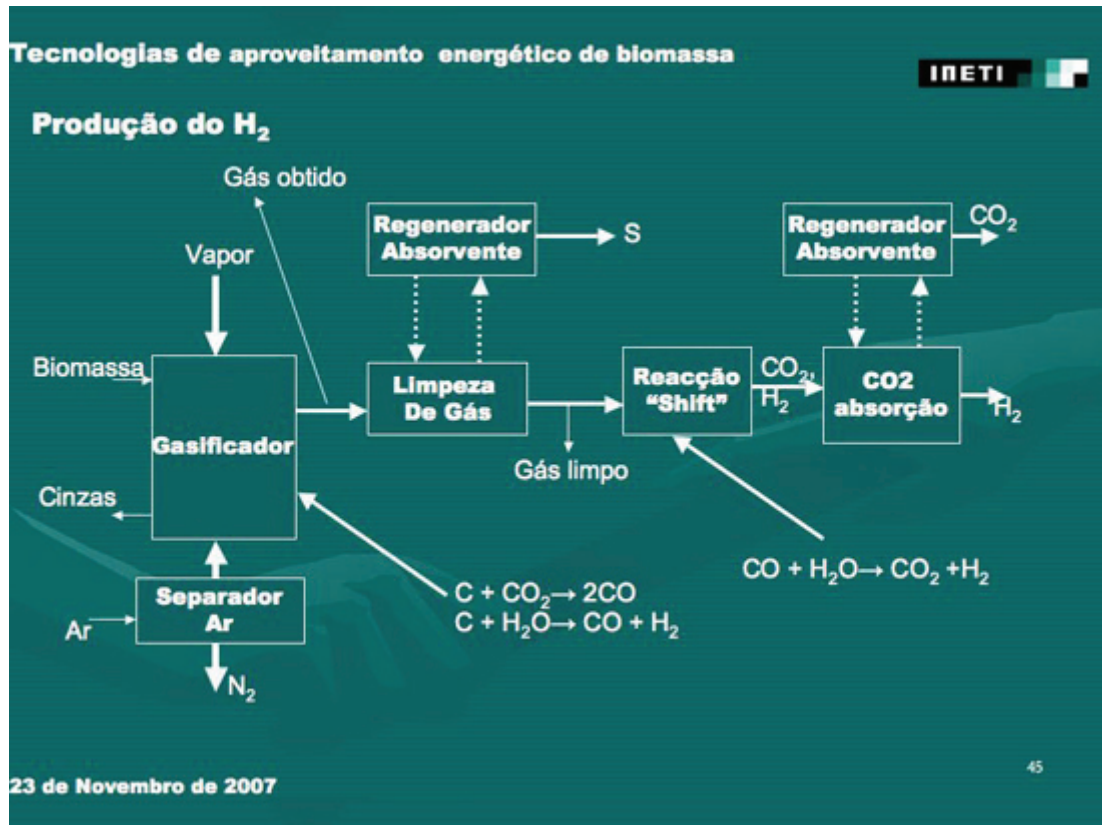
Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa INETI

Projecto da UE para fornecimento de 1% de combustíveis para transporte na UE com diesel por F-T

- Projecto de Gasificação Integrada de Biomassa com Fisher-Tropsch (BIG-FiT): Shell, Volkswagen, ECN, Rabobank, Ecofys, TU Eindhoven, Rotterdam Harbour: 0,30-0,40 €/Litro
- *Input* (madeira): 18 milhões ton/ano
(320 000 GJ) (Roterdão-7 milhões ton/ano, 6 %fretes)
Requer uma quinta energética de 8000 km²
- *Output*: 85 000 bpd (160 000 GJ) e 17 TWh (em 2070MW) 17 % fornecimento de electricidade Holandesa

23 de Novembro de 2007 43





Conclusões

- **Combustão é um processo bem conhecido e já existem muitas unidades em funcionamento.**
- **A Co-combustão representa uma opção de baixo custo e no curto prazo a ser aplicada a larga escala**
- **Para baixos raios de mistura dos combustíveis não existem problemas graves. Os aspectos que merecem particular atenção são as combinações inadequadas de combustíveis, tipos de caldeiras, e operação**

23 de Novembro de 2007

49

Conclusões (Cont.)

- A gasificação de biomassa é muito promissora, uma vez que produz elevada eficiência eléctrica global
- Os sistemas de gasificação para produção de electricidade não se encontram disponíveis no sector comercial, na Europa
- Mas, com os últimos desenvolvimentos nesta matéria, pode-se afirmar que a tecnologia de gasificação para produção de electricidade e aprovisionamento podem estar disponíveis nos próximos anos
- Os seguintes factos são uma realidade:
 - A gasificação de biomassa para produção de electricidade é comprovada como tecnicamente viável sob condições ambientais e económicas na Europa
 - O projecto de um sistema inovador garante o esclarecimento de erros realizados no passado, para ser credível e fiável no mercado

23 de Novembro de 2007

50

Conclusões (Cont.)

- O processo de F-T é antigo, o qual foi alvo de melhorias nas últimas décadas
- O processo continua a garantir a produção de combustíveis de elevada qualidade bem como os seus derivados
- Dado que as especificações em combustíveis têm-se tornado mais exigentes, acredita-se que os produtos obtidos por F-T tornar-se-ão os mais usuais dada a pureza dos seus produtos

23 de Novembro de 2007

51

Conclusões (Cont.)

- Boa dimensão, tanto no que se refere aos sistemas descentralizados de CHP como recorrendo à tecnologia de pilha de combustível
- Elevada eficiência na geração de electricidade em instalações CHP incorporando a gasificação – especialmente quando em combinação com pilhas de combustível

Eficiência na geração de electricidade de concepções CHP na gama dos 10 MW de potência (com base no PCI do combustível alimentado)

- Ciclo de vapor / combustão:	12 – 20%
- Motor a gás / Gasificação:	~25%
- Gasificação / PAFC:	25 – 30%
- Gasificação / MCFC:	32 – 37%
- Gasificação / SOFC / GT:	40 – 45%

As pilhas de combustível representam a tecnologia “chave” para a produção de electricidade com elevada eficiência a partir de biomassa sólida

23 de Novembro de 2007

52

Tecnologias de aproveitamento energético de biomassa



Obrigado pela Atenção

Ibrahim.gulyurtlu@ineti.pt

23 de Novembro de 2007

53