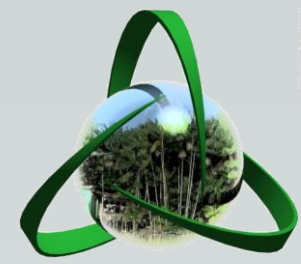




UFPA

Universidade Federal do Pará

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Faculdade de Engenharia Mecânica
Grupo de Energia, Biomassa e Meio Ambiente



EBMA

Energia Biomassa e Meio Ambiente



PFRH 37 – COPPE/RJ

Conversão de Biomassa Vegetal em Potência e Calor

Agosto 2014

Manoel Fernandes Martins Nogueira

mfmn@ufpa.br

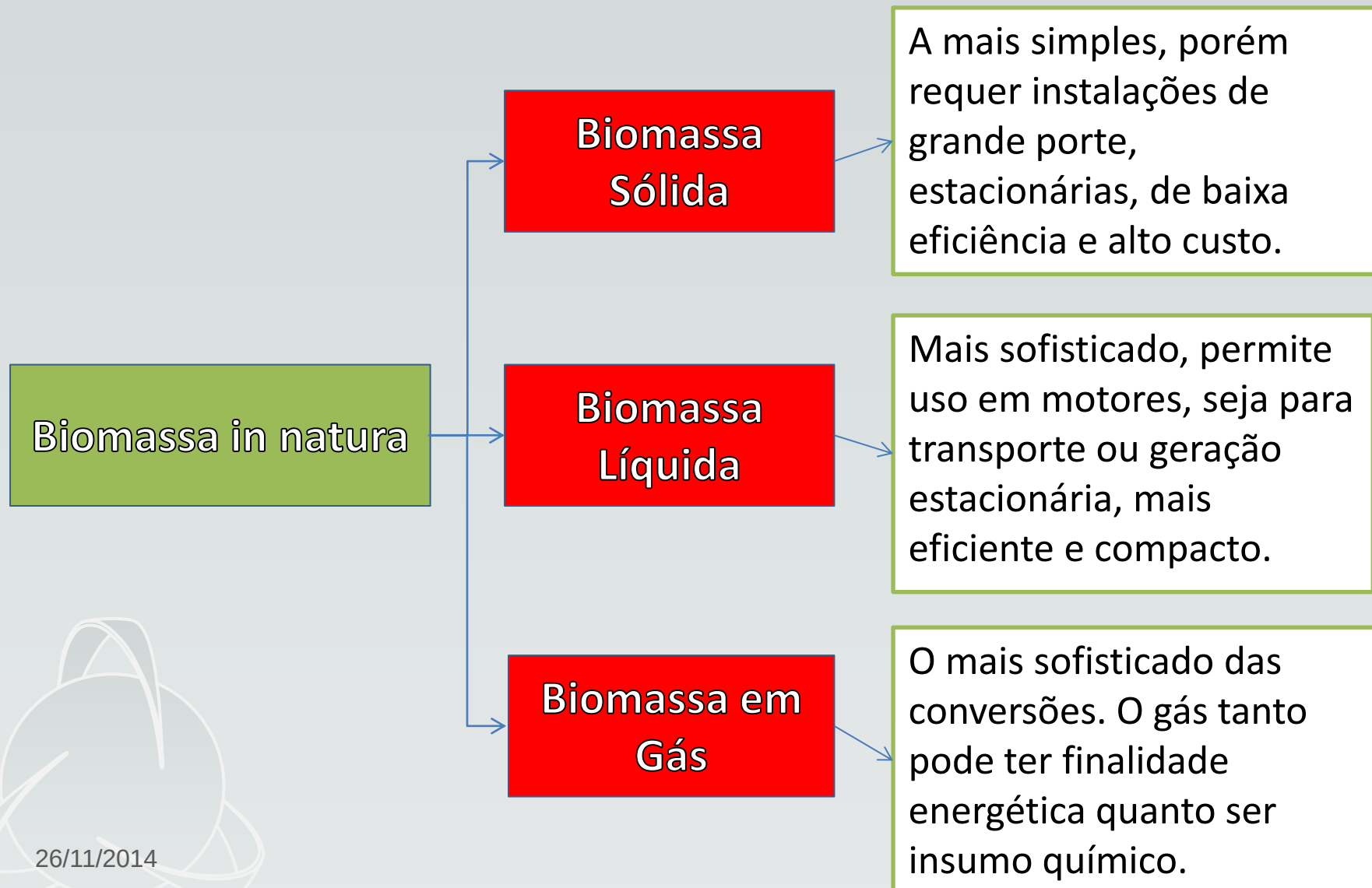
BIOMASSA *IN NATURA* NÃO É COMBUSTÍVEL

- Baixa massa específica (dificulta o transporte)
- Alta umidade (impossibilita combustão)
- Formato inadequado (dificulta introdução na câmara de combustão)
- Localização longe do consumo finais (requer colheita, armazenamento, transporte)



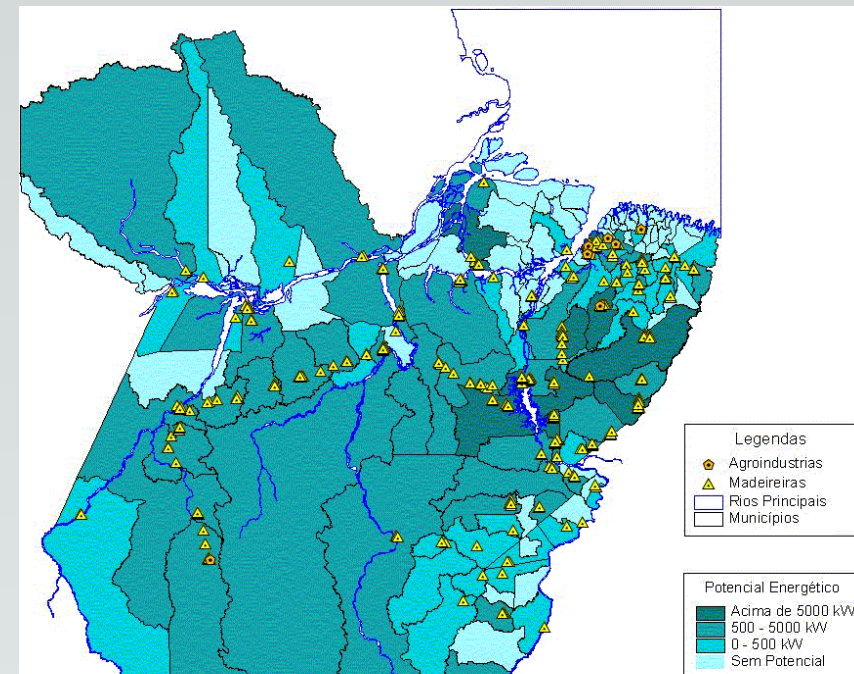
Isto impõe a estruturação de uma cadeia para **garantia de suprimento** da demanda na quantidade e qualidade que o processo final exige.

ROTAS DE CONVERSÃO PARA BIOMASSA COMBUSTÍVEL



BIOMASSA COMBUSTÍVEL SÓLIDA

Tema em foco: Garantia de Suprimento



Identificação da Disponibilidade de Biomassa

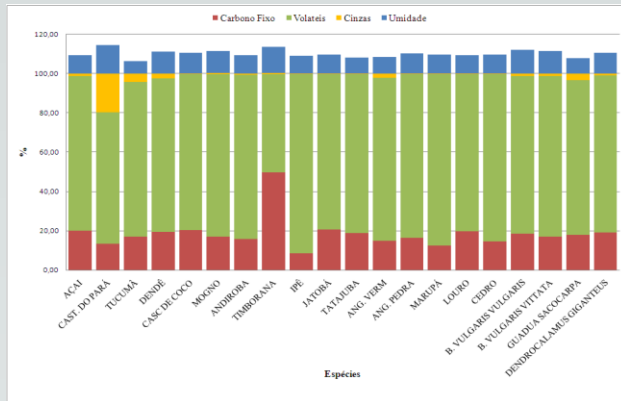
- Identificação da localização de resíduos agrícolas ou florestas, quantidade anual e sua caracterização energética.
- PCS, Análise Imediata e Elementar.

BIOMASSA COMBUSTÍVEL SÓLIDA

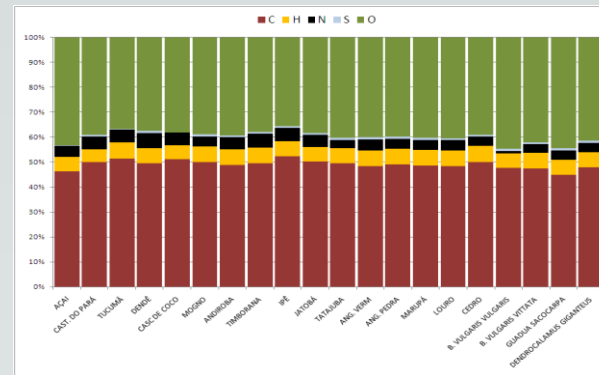
Tema em foco: Garantia de Suprimento

O ponto de partida para projeto de usina, combustão ou gaseificação, são os parâmetros de caracterização energética: PCS, análise elementar, imediata, TGA e DTG

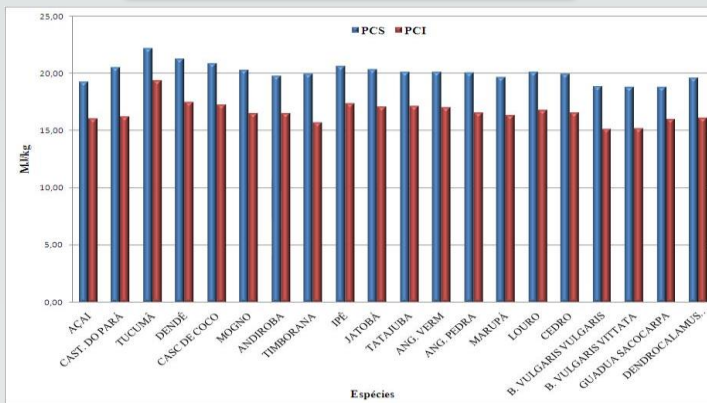
Análise Imediata



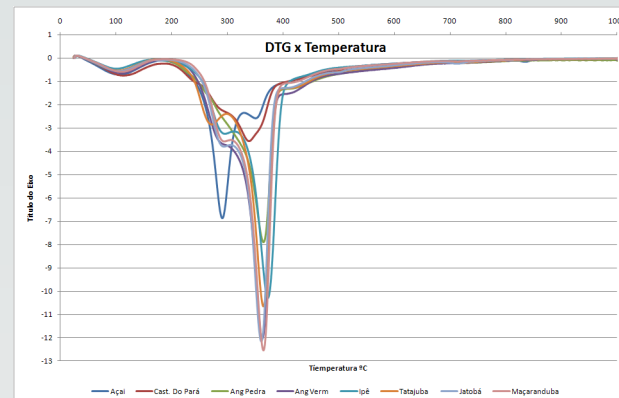
Análise Elementar



PCS e PCI



TGA e DTG





CARACT. ENERGÉTICA BIOMASSA ANÁLISE IMEDIATA



Base seca em % mássica

	Voláteis	Cinzas	Carbono fixo
Casca de arroz	63,6	20,6	15,8
Fibra de coco	70,60	4,7	24,67
Caroço de açaí	79,44	1,1	19,45
T °C	500		

Entre os voláteis estão alcatrão e óleo que condensam entre 120-150 °C



CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DE BIOMASSA PODER CALORÍFICO SUPERIOR



- O PCS do combustível é determinado reagindo o combustível com oxigênio em um calorímetro e medindo o calor liberado a uma quantidade conhecida de água.
- O calor libertado durante este procedimento representa a quantidade máxima de energia que pode ser obtida da biomassa por combustão.
- O PCS somente é uma propriedade do combustível se a amostra estiver seca.



ID	Nome Comercial	Nome científico:	PCS (kcal/kg)	Carbono Fixo (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)	DG (kg/m3)
1	Acapu		4944,30	20,91	78,72	0,3745	250
2	Andiroba	<i>Carapa guianensis Aubl.</i>	4720,67	10,14	89,86	0,0002	290
3	Angelim		4183,33	15,13	70,01	14,8550	280
4	Angelim Pedra	<i>Hymenolobium spp.</i>	4739,40	17,15	81,56	1,2977	265
5	Angelim vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>	4881,00	20,34	79,61	0,0457	250
6	Bambu		4533,67	17,78	81,34	0,8777	267
7	Breo		4756,20	14,19	85,62	0,1900	259
8	Buchas trituradas de dendê		4142,40	15,23	72,86	9,9105	298
9	Cacho seco de amêndoa		4622,67	16,60	80,55	2,8533	200
10	Caroço de açaí	NT	4576,00	19,45	79,44	1,1057	240
11	Casca de amêndoa		5308,33	20,66	77,73	1,6106	220
12	Casca de palmito		3864,67	18,00	76,14	5,8642	240
13	Cascas de castanha do Pará		4843,60	27,07	71,04	1,8823	240
14	Cascas de nozes		5039,00	22,49	75,86	1,6515	260
15	Cedro		4827,20	15,27	84,63	0,1031	249
16	Copaíba	<i>Copaifera spp.</i>	4755,00	9,05	90,87	0,0847	250
17	Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	4810,30	13,29	86,65	0,0658	270
18	Falso Pau-Brasil		5257,20	21,42	78,39	0,1874	220
19	Fibra de coco		4458,33	24,67	70,60	4,7314	282
20	Fibra de dendê		3953,18	19,59	76,21	4,2005	200
21	Garapa		4463,00	18,33	78,51	3,1655	200
22	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	4636,60	19,99	79,63	0,3808	200
23	Louro-Faia	<i>Euplassa spp.</i>	4710,00	17,75	82,04	0,2106	230



CARACT. ENERGÉTICA BIOMASSA ANÁLISE ELEMENTAR



- C, H, N, S e por diferença O: Cuidado com a unidade → acrescenta H e O → base seca. Ex: madeira $C_{3,3-4,9}H_{5,1-7,2}O_{2,0-3,1}$

	C	H	N	S	O	Cinzas
Casca de arroz	38,3	4,4	0,83	0,06	35,5	21
Pinheiro	59	7,2	-		32,7	1,13
Caroço de açaí	46	6,0	0,8	-	46,0	1,2

População H/C aproximadamente 1,5 e de O/C de aproximadamente 0,6



O resultado da análise elementar permite calcular o poder calorífico superior e inferior



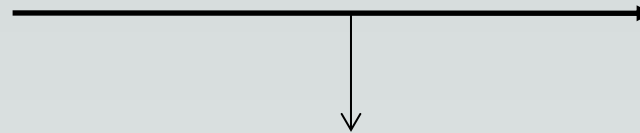
CARACT. ENERGÉTICA BIOMASSA

PODER CALORÍFICO SUPERIOR X PODER CALORÍFICO INFERIOR



Combustível
+
Oxidante

COMBUSTÃO



$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
+ N_2 +
Cinzas

Calor de Reação
 Q_R [kJ]

$$PCS = \frac{Q_R}{m_{comb}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{comb}} \right]$$

**Líquidos nos produtos é
inconveniente.**

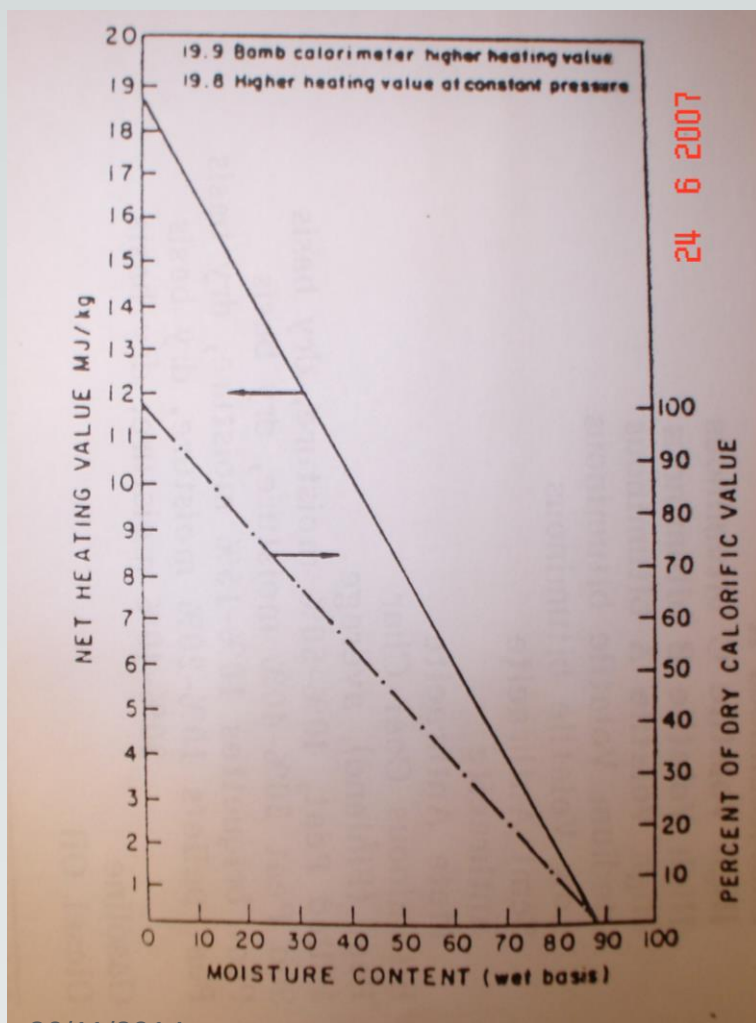
$$PCI = \frac{Q_{R-V}}{m_{comb}} = PCS - \frac{m_{\text{H}_2\text{O},P}}{m_{comb,R}} L(P)$$

PCI depende da umidade da biomassa



CARACT. ENERGÉTICA BIOMASSA

PODER CALORÍFICO SUPERIOR X PODER CALORÍFICO INFERIOR



PCI não é propriedade.

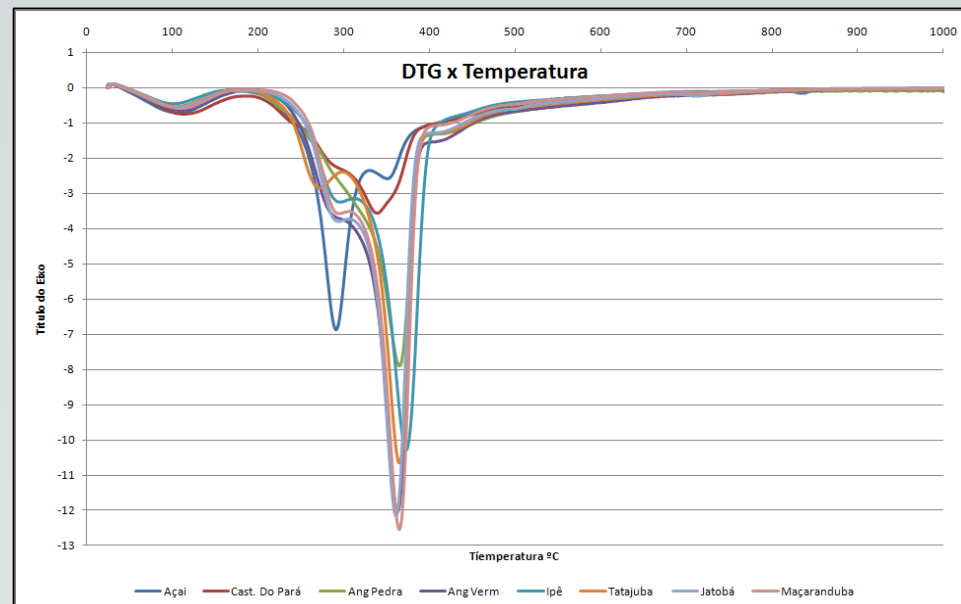
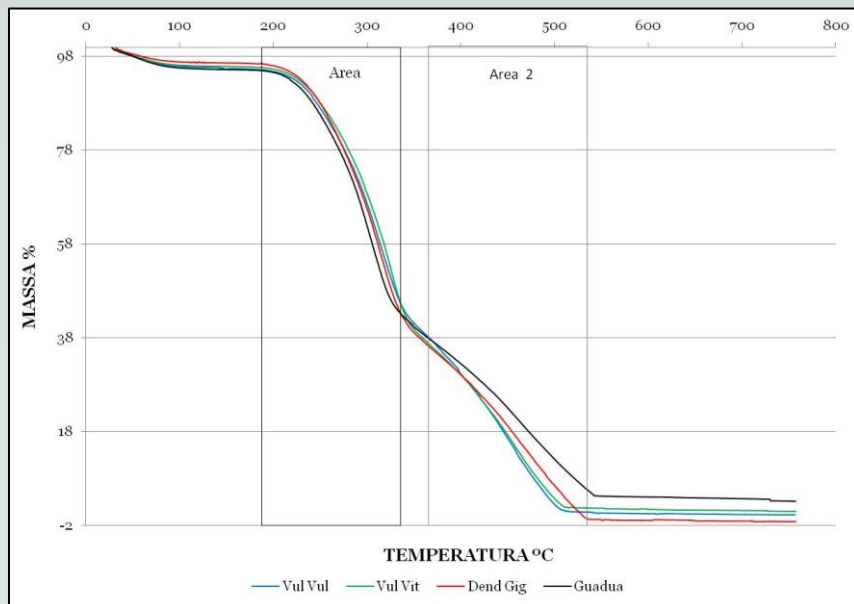
PCI decresce com o aumento do teor de umidade.

Teores de umidade acima de 70% inibem chama.

Vejam os filmes 1 e 2



ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA



$$\ln \left[\frac{d\alpha/dt}{(1-\alpha)} \right] = \ln[A] - \frac{E}{RT}$$

Species	2° range of temp.	Adjustment Eq.	R ²	Ea	A
AÇAÍ	457-574 K	15.329 – 11,239x	0.9929	93,32	7,39E+05
BRASILIAN NUTS	450-575 K	4.1963 – 6,423.4x	0.9868	53,41	6,64E+01
JATOBÁ	469-644 K	10.835 – 10,378x	0.9790	86,29	5,08E+04
ANG. PEDRA	450-575 K	8.1061 – 7,803.5x	0.9922	64,67	5,28E+02



COMPOSIÇÃO DAS CINZAS



- SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 (95%)
- Aumento de teor de cinzas, reduz PCS
- Cinza pode derreter formando escoria líquida:
Sequência: Amolece → Fundi → Flui → Solidifica
- Consequência: obstrução, isolamento, cobrimento.
 - Ca, Mg → Dificulta o derretimento das cinzas
 - K → Facilita
 - Cl, S, K, Na → Promotores de corrosão (gases corrosivos, condensáveis 100 – 150 °C)
 - Cd e Zn → Problemas ambientais



BANCO DE DADOS DE BIOMASSA



1. IEA Bioenergy: composition of fuels and ashes
www.ieabioenergy-task32.com
2. BIOBIB database: resultados de análises elementares e imediatas mais informações sobre fusibilidade de cinzas
www.vt.tuien.ac.at
3. Phyllis: composição e dados de biomassa
www.ecn.nl/phyllis



CRITÉRIO PARA UM BOM COMBUSTÍVEL



	Voláteis	Carbono Fixo	Cinza
Combustão	> 75% b.s.	< 25% b.s.	< 3% b.s.
Gasificação	< 75% b.s.	> 25%	-----

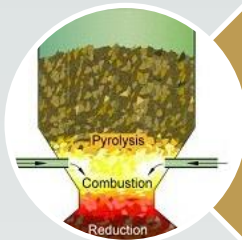
TECNOLOGIAS



Caracterização

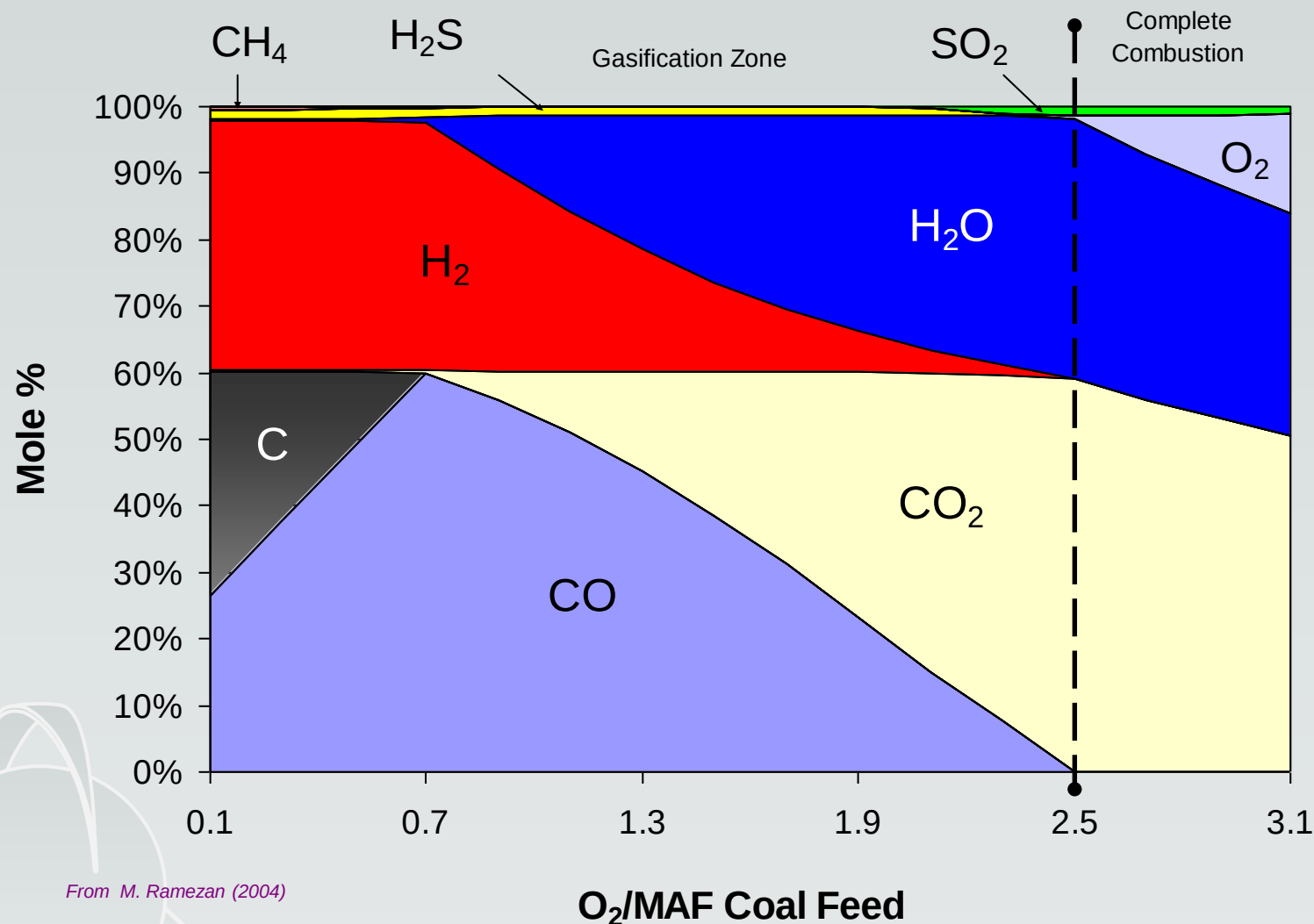


Combustão



Gasificação

EFEITO DA RAZÃO OXIGÊNIO-CARVÃO NA COMPOSIÇÃO DAS EMISSÕES



From M. Ramezan (2004)

COMBUSTION STEPS OF A BIOMASS PARTICLE

B. Piriou et al. / Progress in Energy and Combustion Science 39 (2013) 169–188

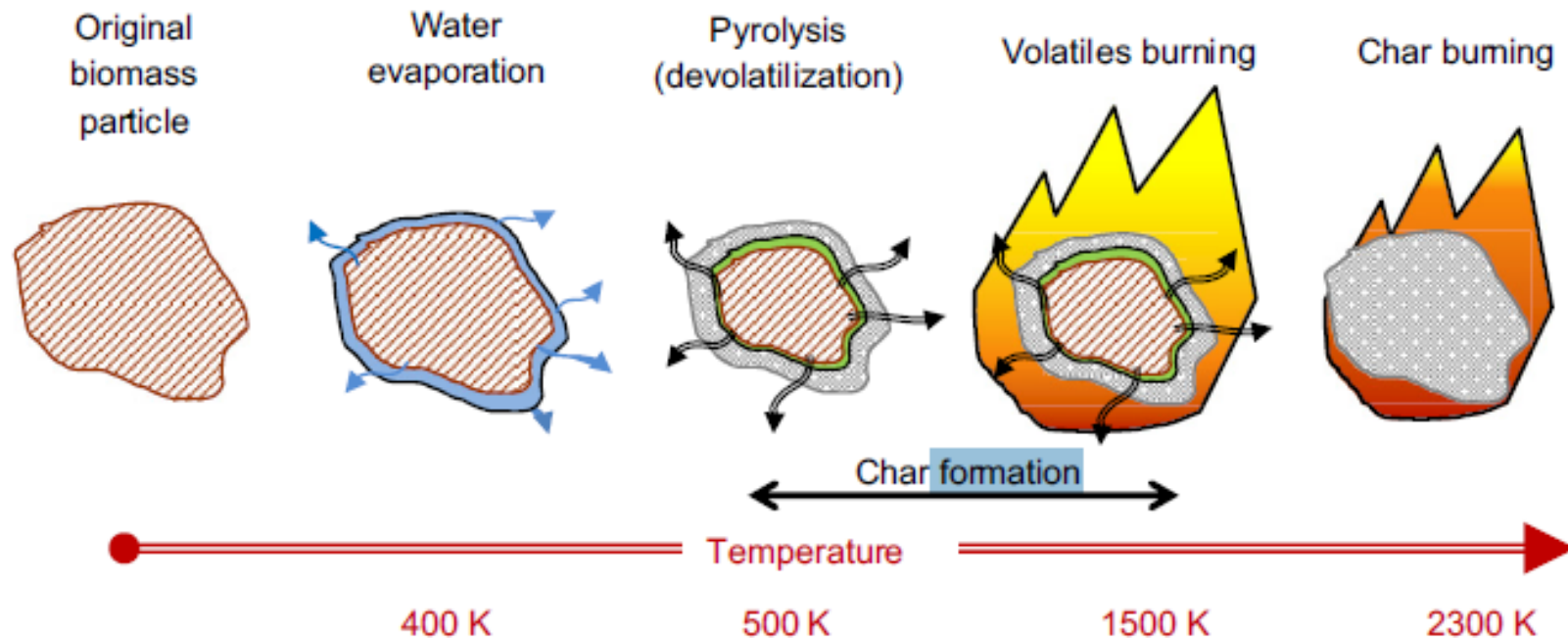
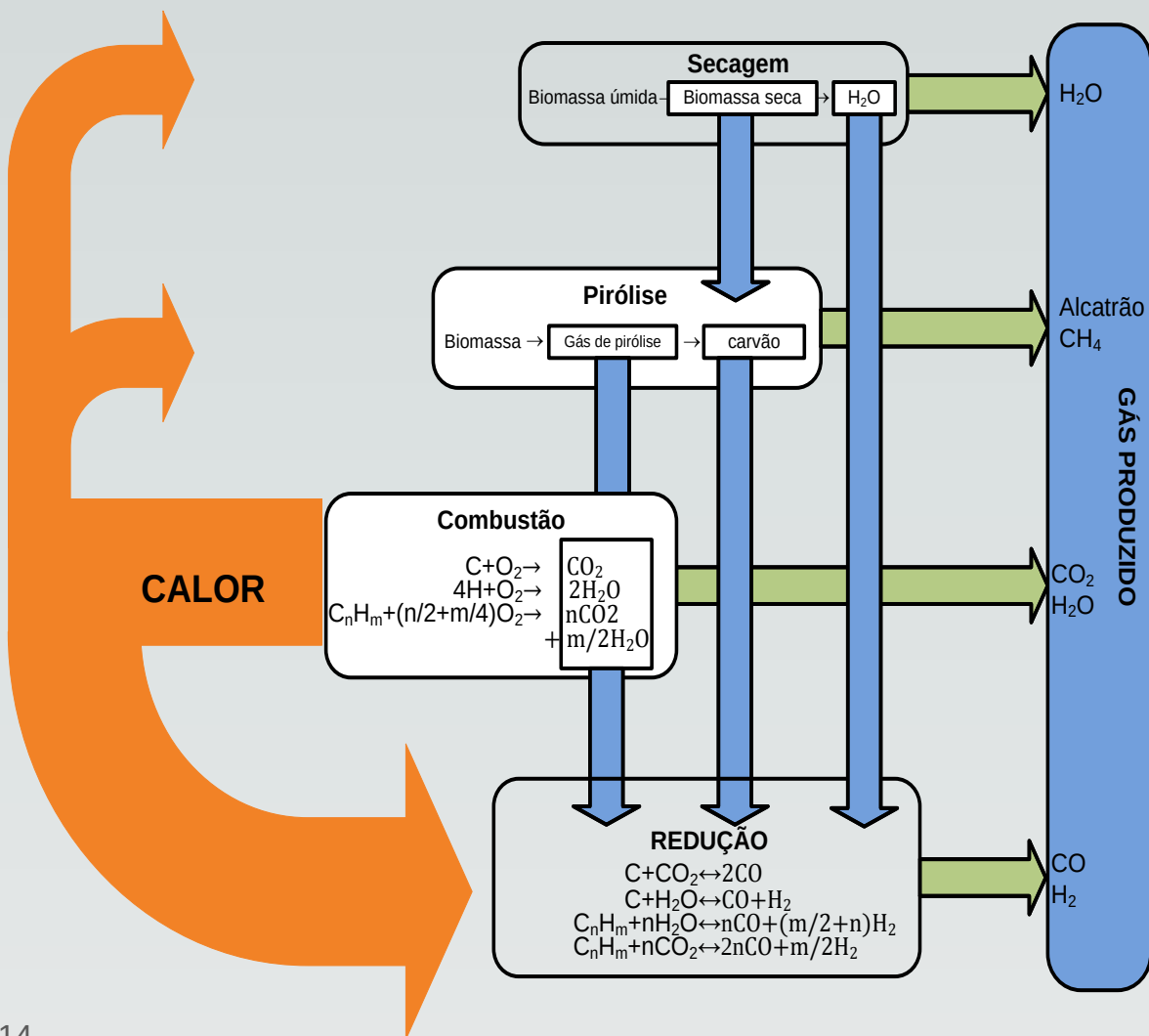


Fig 13. Combustion steps of a biomass particle in the 10–100 micron size range.



ESQUEMA GLOBAL DE GASIFICAÇÃO DE SÓLIDOS



BIOMASSA COMBUSTÍVEL SÓLIDA

Tema em foco: Umidade e Forma

Vantagens

Processos de Secagem, briquetes e peletes.

- Promovem a secagem da biomassa (10-20%).
- Aumenta a massa específica aparente em 5-6x.
- Não modifica o PCS.
- Peletes possuem densidade aparente um pouco maior e maior facilidade de alimentação no combustor do que briquete. (preferência).



Problemas

- Necessitam de biomassa de pequena granulometria. (aplicável somente a resíduos).
- Processo necessita ser desenvolvido para cada espécie florestal ou o briquete fica quebradiço.
- As matrizes para peletização possuem vida útil reduzida.
- Torragem surge como alternativa para produção de pó de biomassa.





A torrefação: uma definição

- Torrefação é um tratamento termoquímico caracterizado por ocorrer na faixa de temperatura entre 200 e 300° C.
- É conduzido em pressão atmosférica e na presença de uma quantidade mínima de oxigênio, visando evitar a combustão espontânea.



°C

Porque a torrefação?

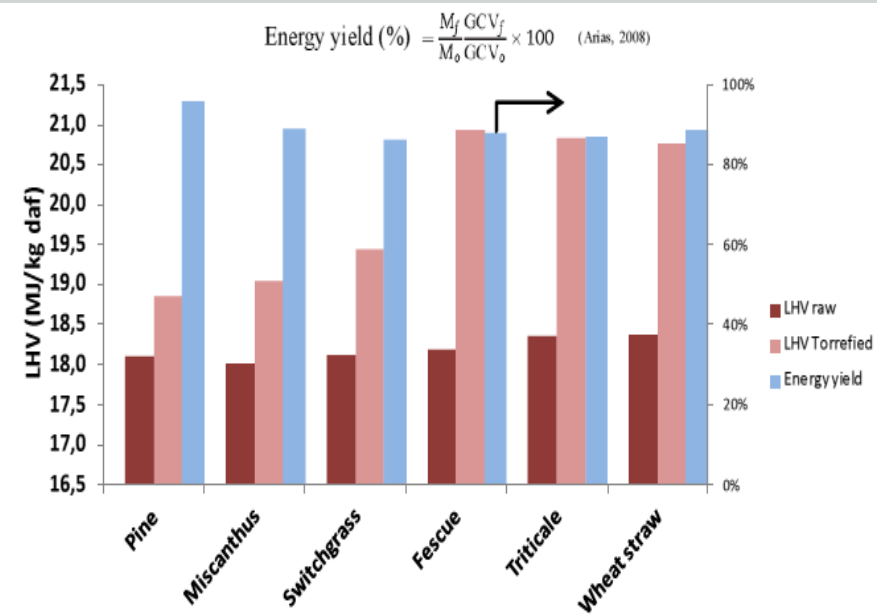
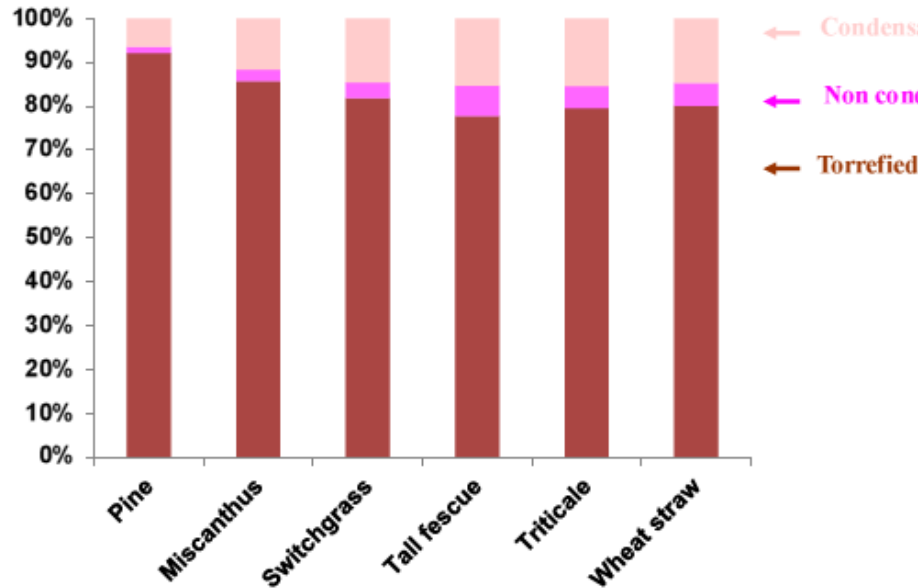
Objetivos:

- Produzir um combustível com características físicas, mecânicas e energéticas adaptadas
- Produção de multi-produtos condensáveis com alta padronização;

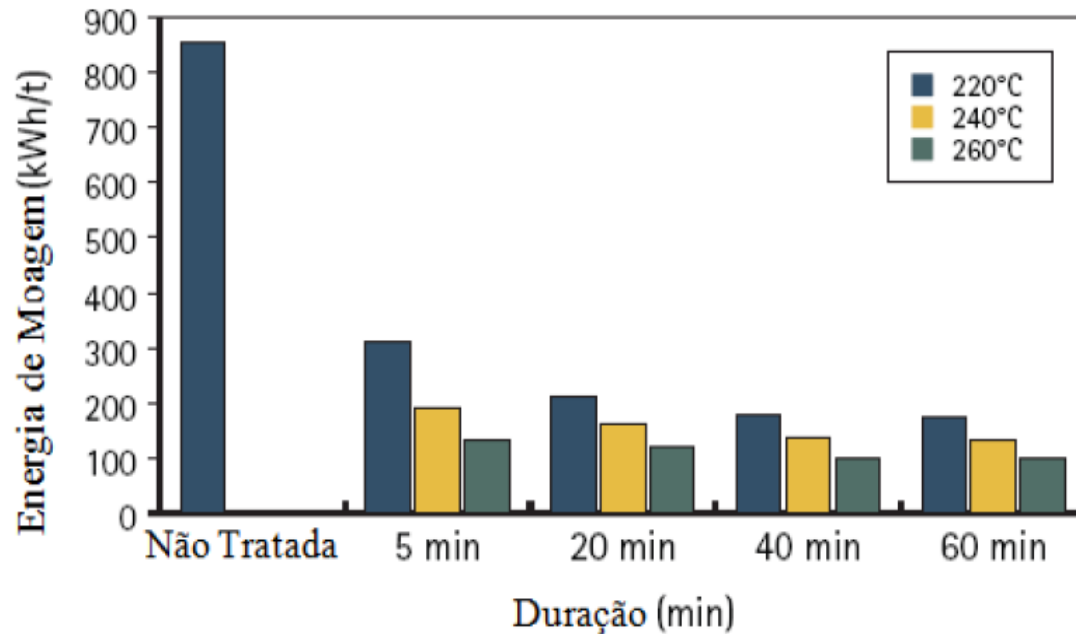
Algumas consequências:

- Redução do custo de moagem, aumentando a friabilidade
- Uso na co-combustão com carvão mineral, o que proporcionaria benefícios ambientais pela redução de emissões de dióxido de enxofre;
- Uso nos gasificadores com injeção mista ($< 0,2\text{mm}$);
- Substituir moléculas de origem fóssil

Global mass balance



- LHV similar for raw biomasses ; LHV increases after torrefaction
- Lower energy yield for agricultural by-products



Produção de Carvão Vegetal para Aplicação na Indústria Metalúrgica



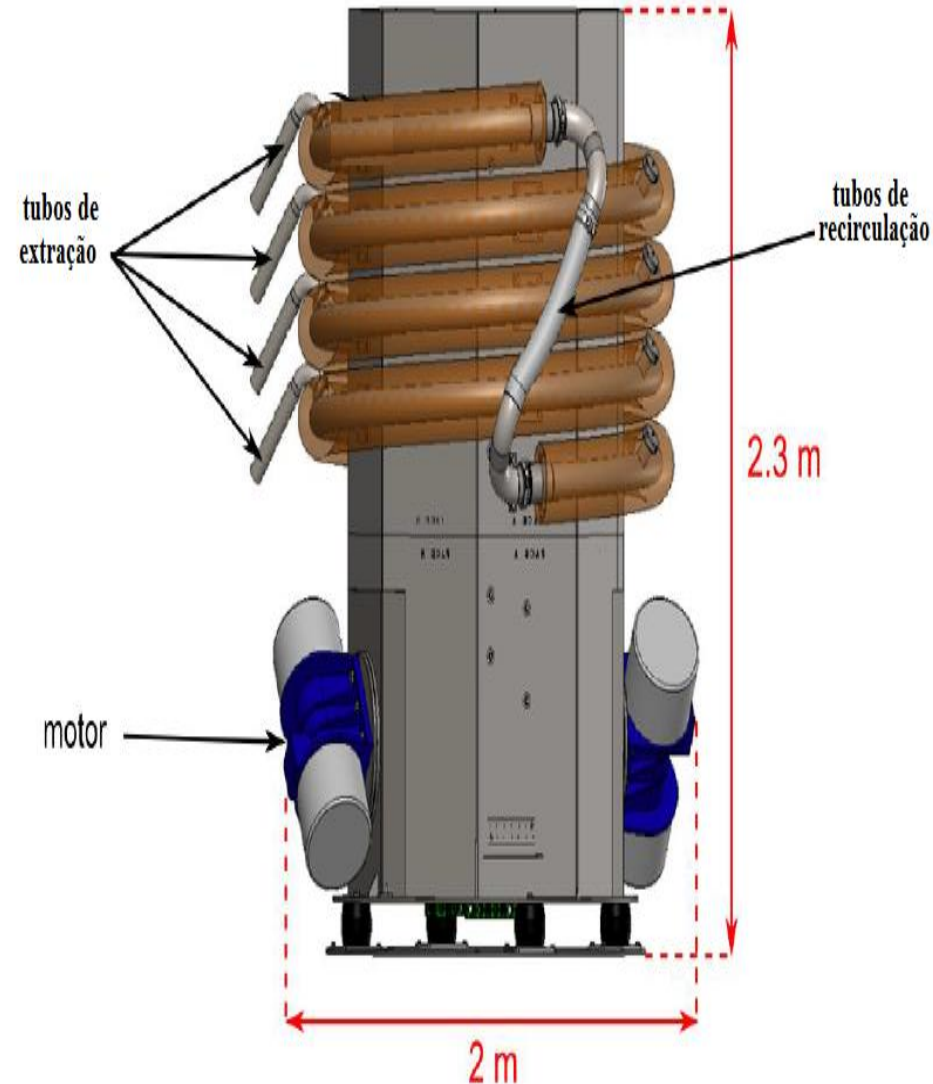
BIOMASSA COMBUSTÍVEL SÓLIDA

Tema em foco: Torragem

Características do Processo

- Temperatura não extrapola 260°C;
- Remoção de água tornando a biomassa hidrofóbica;
- Eficiência mássica acima de 80%;
- Aumento de PCI de 20 a 60%;
- Diferentes processos contínuos e eficientes estão em desenvolvimento;
- Aumenta a friabilidade da biomassa permitindo a moagem com redução da demanda de energia (70 μ m).
- Permite produção em larga escala.

Ver filme vibrador ascendente





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
GRUPO ENERGIA, BIOMASSA E MEIO AMBIENTE



Torrador TEVE na UFPA

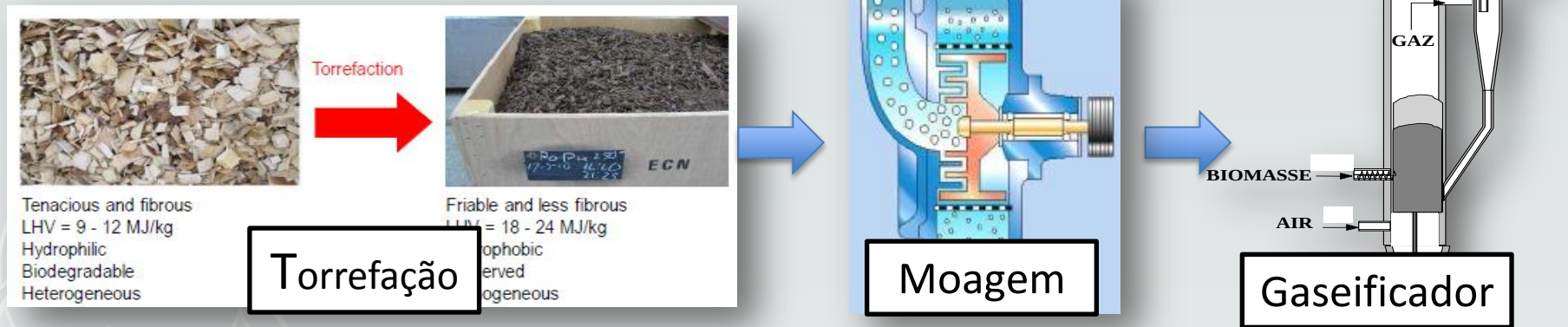


Exemplo de uso da Torrefação

Compactação



Gaseificação



COMBUSTÃO



Usinas
térmicas e
queimadores

- Produção de vapor para geração de energia elétrica.
- Queima de serragem.

Motores de
CI

- Biodiesel
- Óleo vegetal
- Óleo usado

BIOMASSA COMBUSTÍVEL SÓLIDA

USO FINAL em

Centrais a vapor para produção de eletricidade, seja para sistemas interligados ou sistemas isolados.

Caldeiras para produção de vapor e utilização como fonte de calor em processos industriais.

Fornos para a geração de calor em processos industriais de maneira direta.

DESAFIOS

Umidade e Forma: é necessário, de uma maneira econômica e rápida, reduzir a umidade ao máximo e dar-lhe um formato que facilite o seu armazenamento, transporte e alimentação no combustor.

Garantia de Suprimento: é preciso ter a garantia que durante a vida útil do empreendimento não faltará combustível.

Transporte: distância econômica, km

	terrestre	fluvial
In natura	100	300
Briquete	600	1800
Peletes	2000	ilimitado

Melhora da tecnologia de uso:

aumento da eficiência de conversão, redução de escala e mais compacto.

Exemplo de Combustão em Leito Fixo: fogão a lenha





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
GRUPO ENERGIA, BIOMASSA E MEIO AMBIENTE



Açaí pit: not able to sustain a flame. It needs external heat.

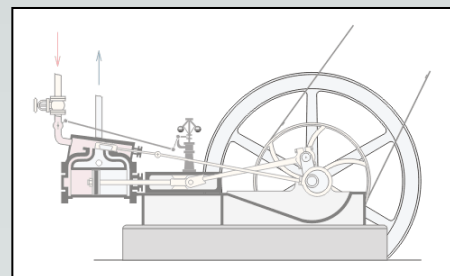
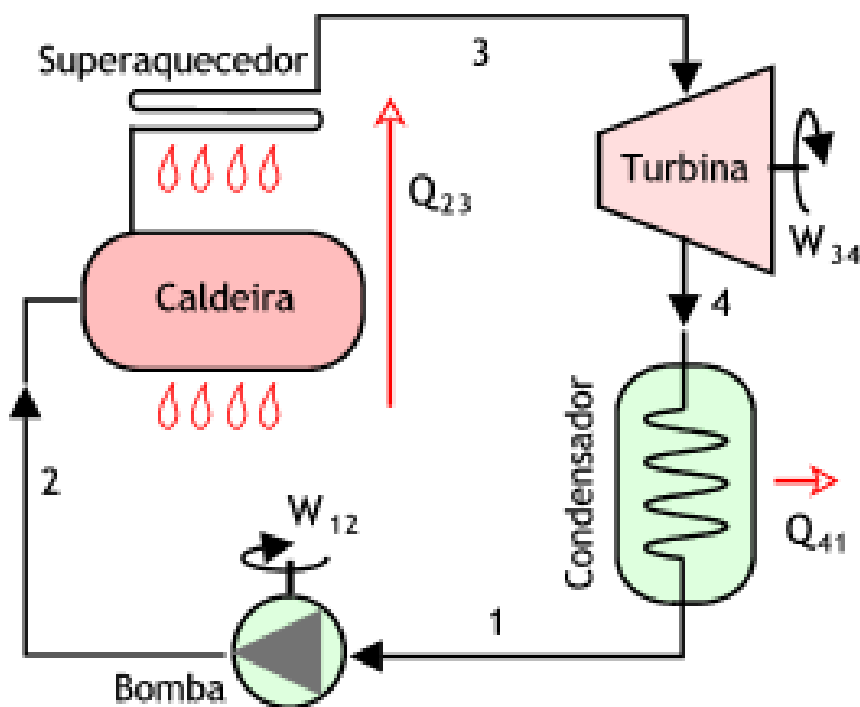


Visual observation had identified that there are some species that are not able to sustain a flame and others very flammable and easily able to go a explosion

Ipê (wood): very fast combustion.



GERAÇÃO DE POTÊNCIA



Ciclo Rankine
Turbina ou motor
Fechado ou aberto



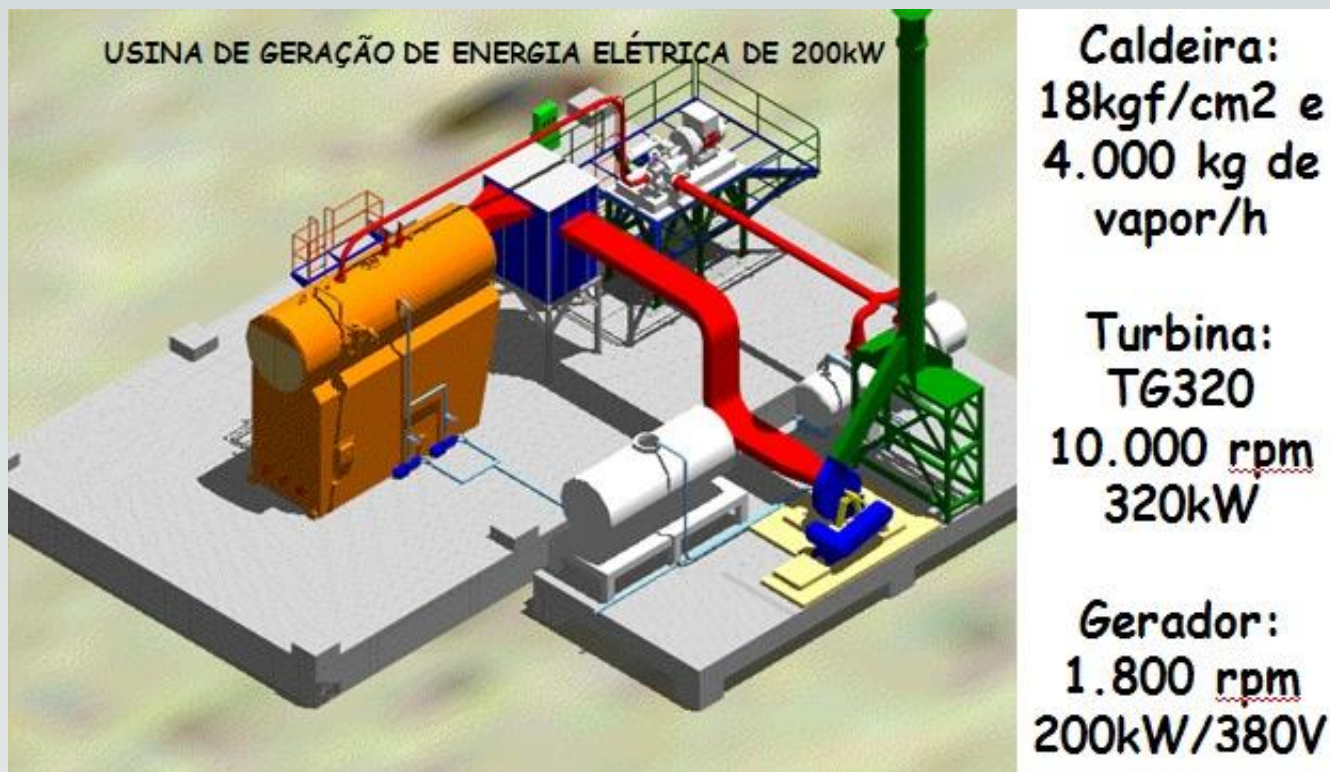
CALDEIRA E TURBINA



BIOMASSA COMBUSTÍVEL SÓLIDA

Tema em foco: Melhora da Tecnologia em Uso

SISTEMAS A VAPOR MAIS EFICIENTES, COMPACTOS E DE MENOR POTÊNCIA



Marajo Project at Breves, Marajo Island – MME/CNPQ/PNUD Program Light for All



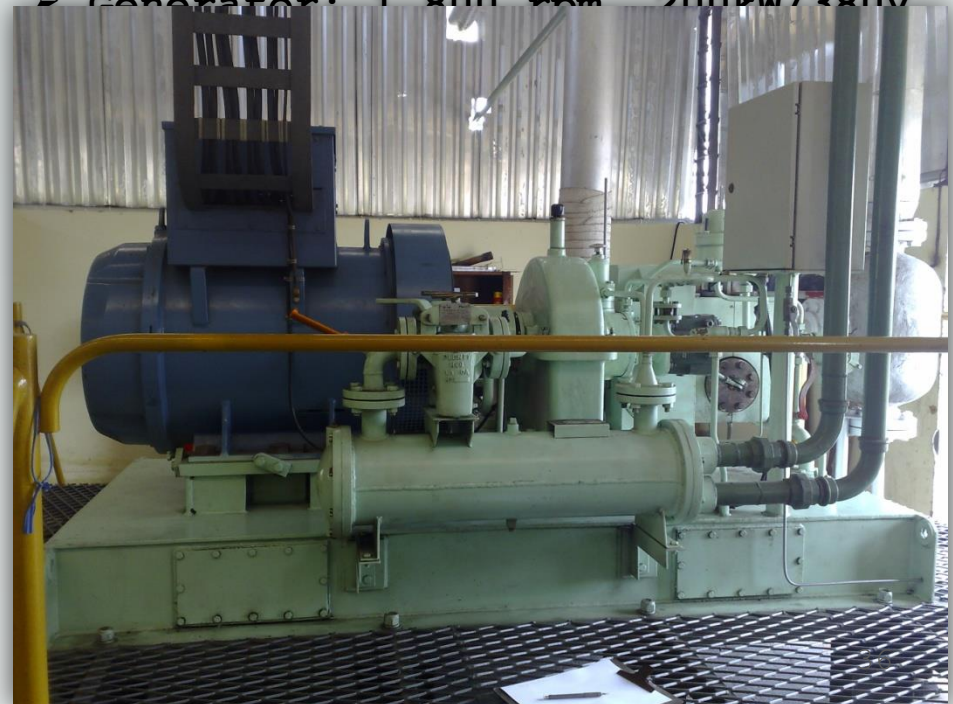
Thermal Power Plant

- All components Brazilian made
- Boiler: Sermatec
- Steam Turbine: TGM
- Generator: WEG

26/11/2014

Thermal Power Plant

- Boiler: 18kgf/cm², 4.000 kg/h de vapor.
- Steam Turbine: 10.000 rpm, 320kW.
- Generator: 1.800 rpm, 200kW/380V



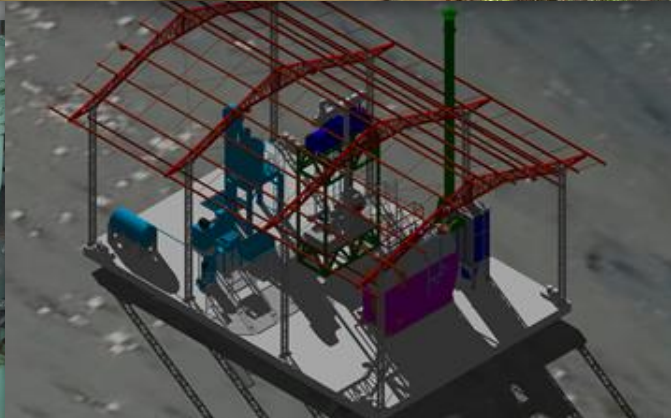
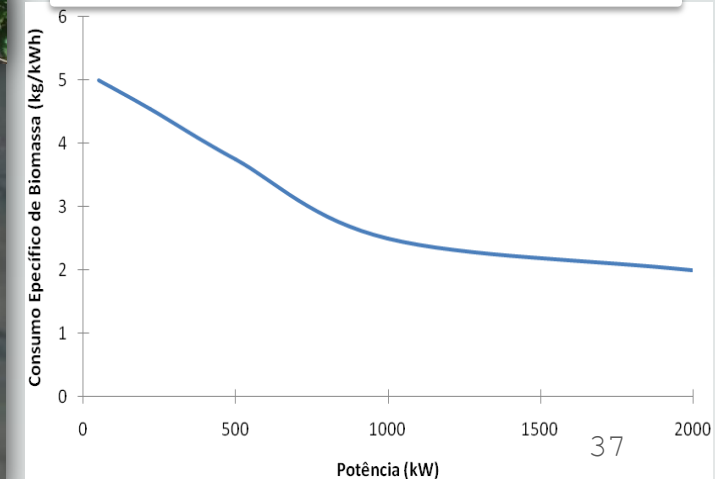
On Board Income Plant

➤ Steam power plant 50

kW.

- Seed crushing for vegetable oil production.
- Construction at favorable location and transported to the off

Downside: fuel consumption



BIOMASSA COMBUSTÍVEL SÓLIDA

Tema em foco: Melhora da Tecnologia em Uso

SISTEMAS A VAPOR MAIS EFICIENTES, COMPACTOS E DE MENOR POTÊNCIA

Centrais Elétricas com Motor Alternativo a Vapor

- Potências entre 75-300 kWe;
- Casa de máquina compacta;
- Manutenção e operação simplificada;
- Eficiência melhorada;
- Custo de geração ~ 750 R\$/MWh, inferior ao custo de grupos geradores diesel;
- Aceitar a alimentação de biomassa na forma de lenha com umidade até 30%.



BIOMASSA COMBUSTÍVEL SÓLIDA

Melhora da Tecnologia em Uso

SISTEMAS A VAPOR MAIS EFICIENTES, COMPACTOS E DE MENOR POTÊNCIA

Desenvolvimento e Caldeiras mais eficientes

Acelerar o processo de combustão utilizando combustão em suspensão.

Leito borbulhante

Leito fluidizado

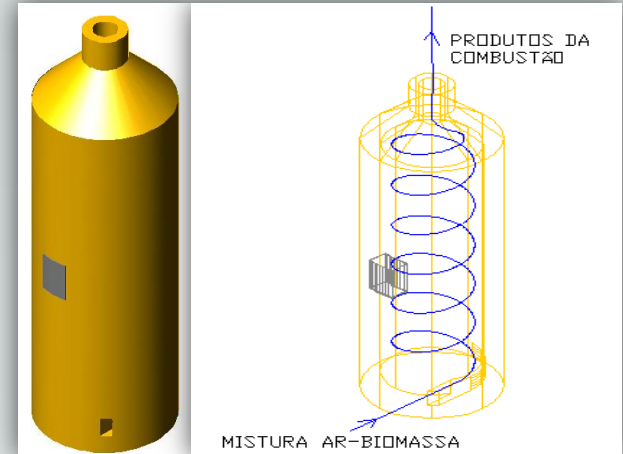
Leito circulante

Leito ciclone

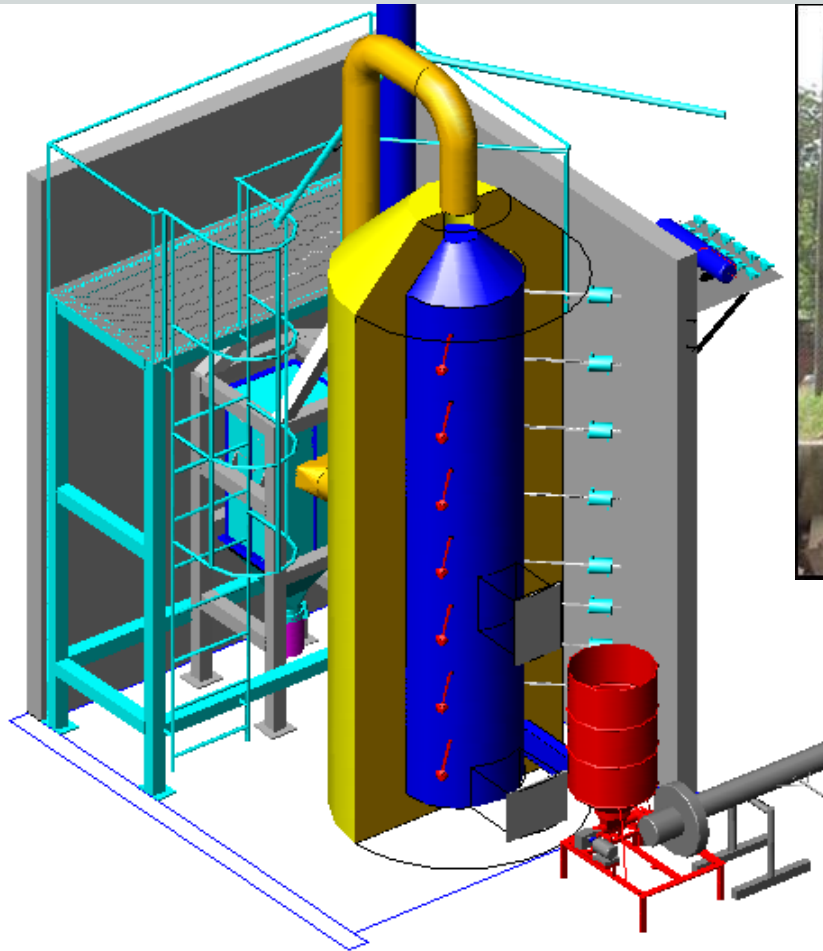
Co-combustão entre combustíveis fósseis e biomassa

Desenvolvimento de novos tipos queimadores.

Produção de biomassa em pequenas granulometrias



CYCLONIC FURNACE FOR SAWDUST BURNING

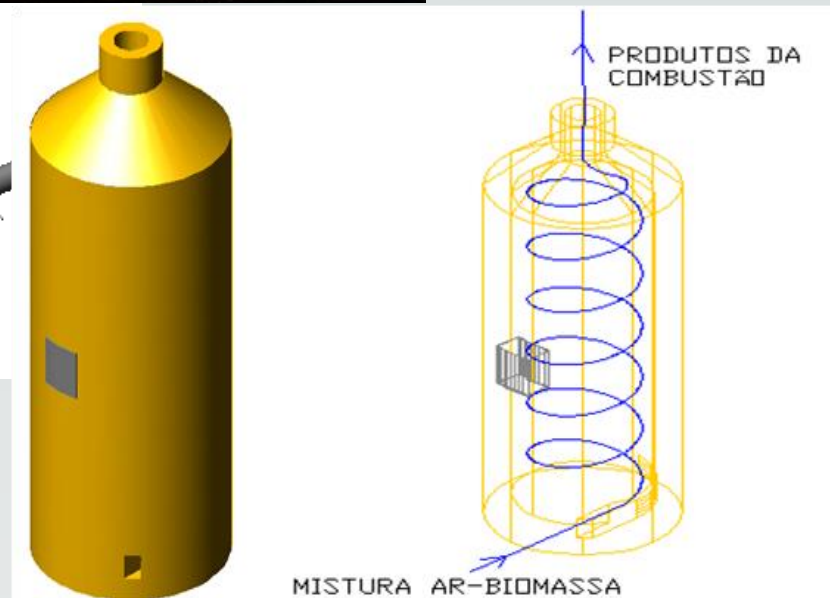


Comciclone:

Development of a compact furnace for sawdust with high rate of sawdust consumption.

Apparattus

0,8 x 4,0 m; Temp: 1200 °C
Mass flow rate: 150-200 kg/h
Low cost.



Ciclone Boiler: COMCICLONE III"



Specifications	Values
Steam production	100 kg/h
Steam pressure	10 atm
Total intensity energy	115 kW
Theoretical thermal efficiency of the boiler	85%
Fuel mass flow rate	34 kg/h
Air mass flow heat	190 kg/h
Average expected temperature in combustor	1223 K



COMBUSTÃO



Usinas
térmicas e
queimadores

- Produção de vapor para geração de energia elétrica.
- Queima de serragem.

Motores de
CI

- Biodiesel
- Óleo vegetal
- Óleo usado

BIOMASSA COMBUSTÍVEL LÍQUIDA

USO FINAL em

Motores de Combustão Interna

Veicular;

Naval;

Aeronáutica;

Geração elétrica.

Caldeiras para produção de vapor e utilização como fonte de calor em processos industriais.

Fornos para a geração de calor em processos industriais de maneira direta.

Gasificadores: alimentação de reatores com o objetivo de produzir de gás de síntese ($\text{CO} + \text{H}_2$).

O biocombustível deve ser capaz de utilizar a logística existente de distribuição de combustíveis.

DESAFIOS

Produção em larga escala: requer que a conversão de sólido em líquido e de líquido em combustível seja contínuo;

Estabilidade de armazenamento: a estrutura química do combustível deve ser constante no tempo (não haver deterioração no tempo).

Uniformidade do produto final: todo o volume de combustível deverá ter a mesma composição e não produzir borras ao longo do tempo.

Desempenho nos motores similar aos combustíveis fósseis: não deverá haver queda de desempenho do motor causado pelo biocombustível;

Não competição com a produção de alimentos: a produção do biocombustível não pode causar redução na produção de alimentos.

BIOMASSA COMBUSTÍVEL LÍQUIDA

Existem somente duas opções de rotas tecnológicas para converter a biomassa líquida em combustível:

- 1. Modificar a biomassa líquida para compatibilizá-la com o equipamento mecânico (motor) existente;**
 - Biodiesel (para uso veículos leves e pesados)
 - Bioetanol (idem)
 - Bioquerosene (para uso em aviação)
- 2. Modificar o equipamento mecânico existente para o habilitar a consumir a biomassa líquida.**
 - Uso de óleos vegetais in natura diretamente no motor;
 - Uso de óleos resultado da condensação dos produtos de pirólise;
 - Utilização de misturas
 - Diesel - Óleo Vegetal
 - Diesel – Etanol
 - Diesel – Biodiesel – Etanol



ESQUEMA GLOBAL DE COMBUSTÃO DE LÍQUIDOS



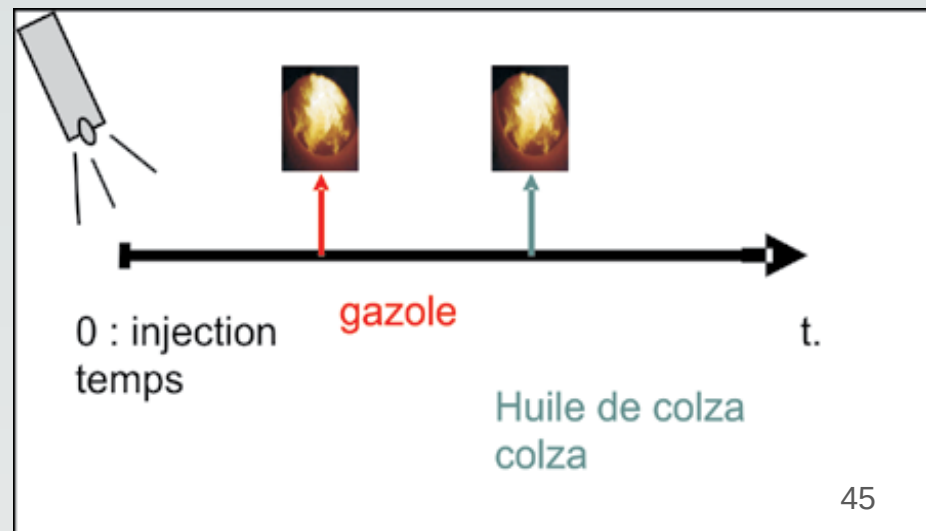
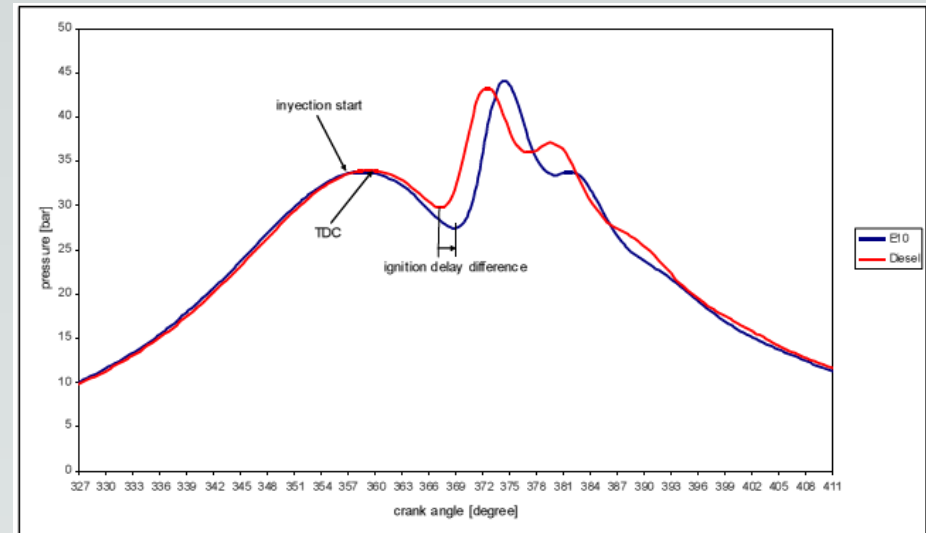
- Pulverização
- Vaporização
- Difusão
- Ignição
- Combustão (cinética química)

Processo dominante (o mais lento)

Vaporização

Todos os processos são diretamente dependentes da temperatura

26/11/2014



BIOMASSA COMBUSTÍVEL LÍQUIDA

Biodiesel

Possui menor PCS que diesel;
Possui menos carbono e maior massa específica que o óleo diesel;
Atraso no fim da combustão (ambos reduzem a potência do motor);
Variação composição química dependendo da origem (soja, algodão, gordura animal etc.);
Fragilidade oxidativa, produzindo borras e gomas;
Emissão de CO e NOx como consequência do processo de combustão.

Etanol

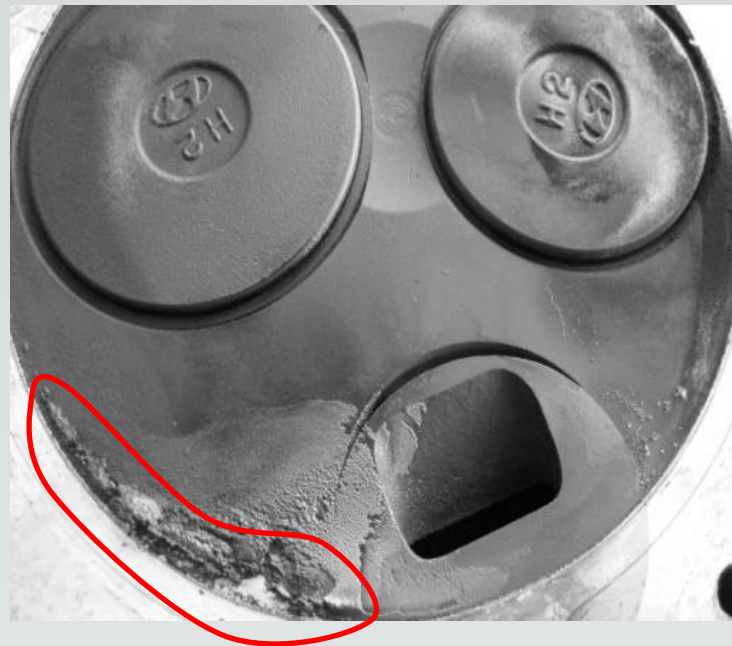
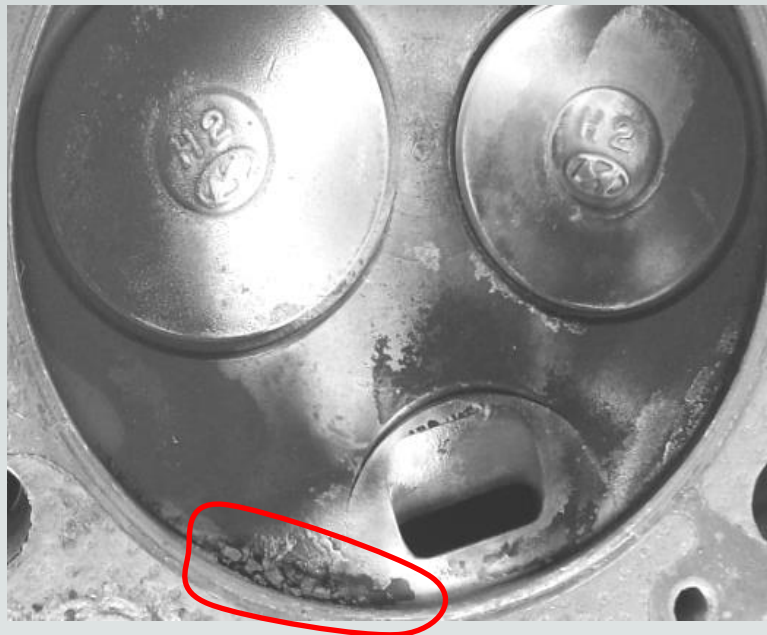
- Possui PCS 30% menor que a gasolina
- Baixa viscosidade quando comparado ao diesel;
- Baixa resistência a compressão;
- Cadeia carbônica razoavelmente curta, portanto contendo menos carbono
- Diminuição de particulado devido a maior presença de oxigênio em relação ao diesel;

26/11/2014



Biodiesel e bioetanol requerem modificação nos parâmetros operacionais com o aumento de teores na mistura (ponto e pressão de injeção).

BIOMASSA COMBUSTÍVEL LÍQUIDA



Diesel



Puro
Biodiesel





PURO ÓLEO VEGETAL



- Propriedades Termo-físicas dos Óleos Vegetais:

Property		Diesel	Palm Oil	Methods available for analysis
Gross heating value [kJ/kg]		42200	40700	ASTM D 240 ABNT NBR 8633
Net heating value [kJ/kg]		39200	38100	
Volatile content (% mass)		99.7	99.7	ABNT NBR 8112
Fixed carbon content (%mass)		0.3	0.25	ABNT NBR 14318 ASTM D 189, D 4530
Flash point [°C]		60	>344	ABNT NBR 7974 ASTM D93
Viscosity [cSt]	40° C	2.6	38.23	ABNT NBR 10441
	60°C	---	20.07	ABNT NBR 10441
	100°C	1.10	8.064	ASTM D445 e D1545
Density [kg/m³] at 20°C		836.7	929.2	ABNT NBR 7148
Density [kg/m³] at 85°C		---	858.4	ABNT NBR 7148

Property	%C	%H	%N	%O	%S
Palm oil	75.54	12. 23	3. 61	8.62	0
Diesel	85.80	13.50	0	0	0.7

Note que OV diesel possui mais C que OV

PCI em base volumétrica

Diesel: 32,7 GJ/m³

Dendê: 35,4 GJ/m³

Óleo de Palma tem mais nitrogênio que o diesel, porém a concentração de NOx no escape é principalmente dependente da temperatura máxima no cilindro



BIODIESEL B100 VERSUS DIESEL B5 FROM PALM OIL



PROPERTY		B100 OF PALM OIL	DIESEL
Ultimate analysis	C [%]	78.93	85,80
	H [%]	13.45	13,50
	O [%]	3.00	0
	N [%]	3.25	0
	S [%]	1.37	1.30
Gross heating value [MJ/kg]		33.11	42.2
Net heating value [MJ/kg]		30.15	39.2
Density[kg/m ³] at 25° C		861.25	839.7
Water content [ppm]		56	-----
Acidity index [mgNaOH/g]		0.45	-----
Index soap [ppm]	at 60° C	456	-----
	at 80° C	4.864	
Flash point [°C]		162	60
Viscosity (at 60° C) [cSt]		8.54	2.1

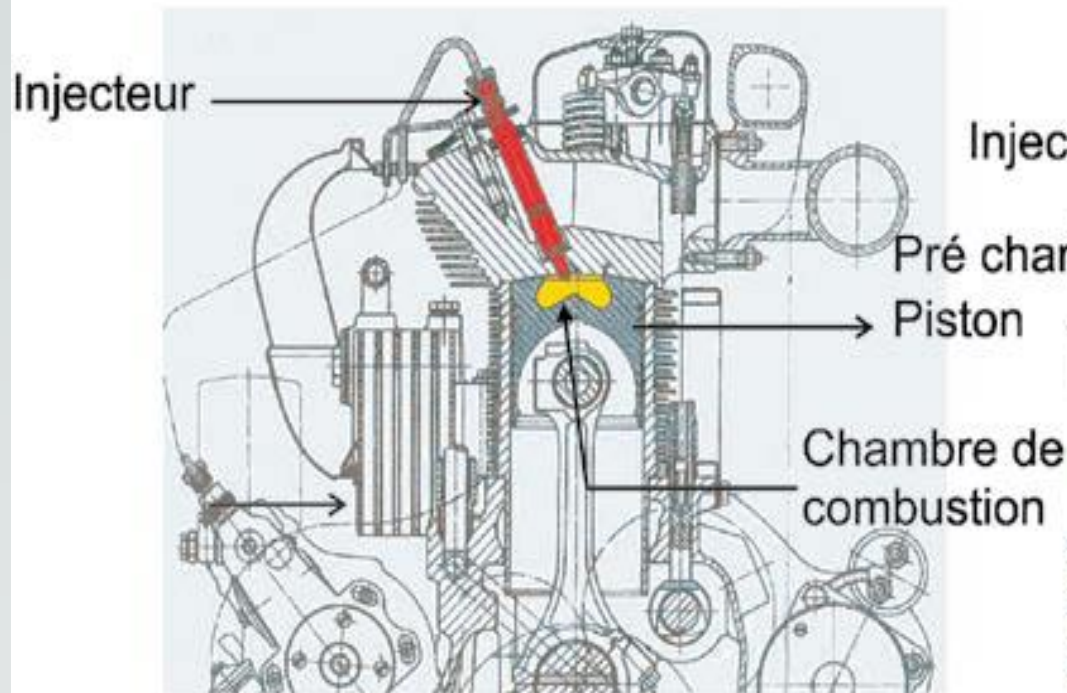
HHV in volumetric basis

Diesel B5: 35,4 GJ/m³

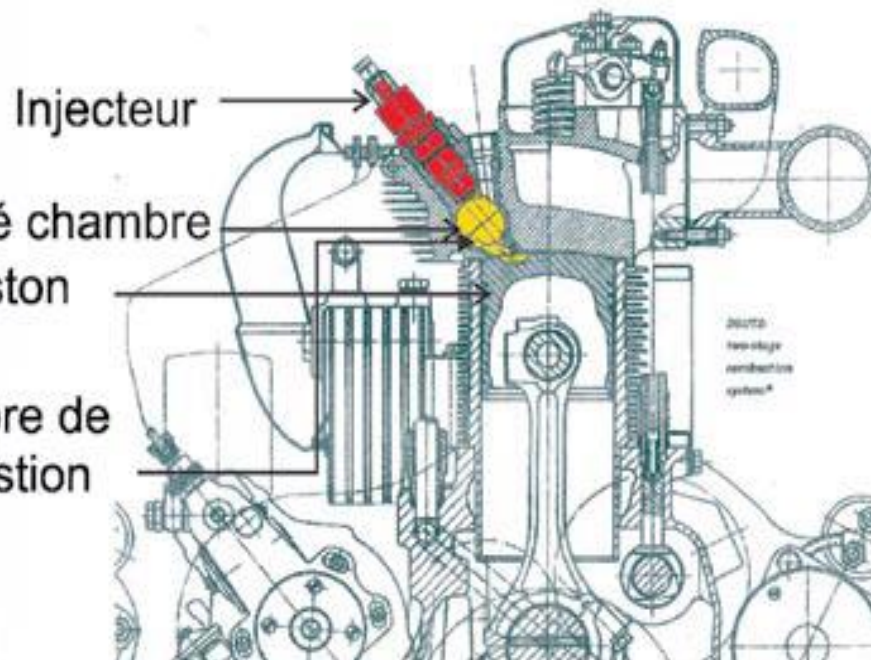
B100: 28,5 GJ/m³

B100 from Palm oil has less GJ/m³ than Diesel B5, therefore lower output power should be observed.

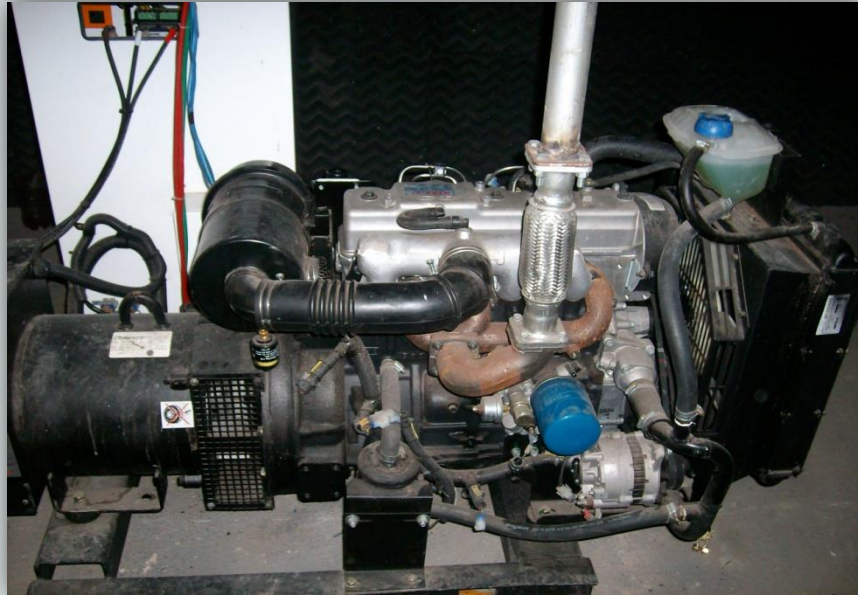
Moteur à injection direct (DI)



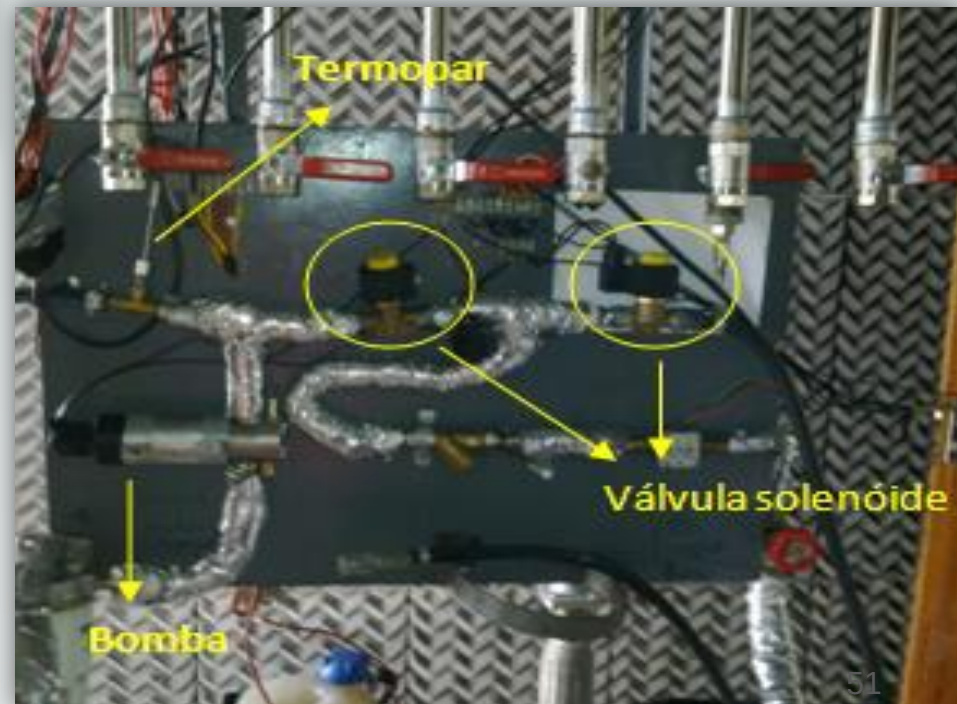
Moteur à injection indirect (IDI)



Projeto: "Desempenho de motores diesel operando com óleo de palma (dendê) in natura"



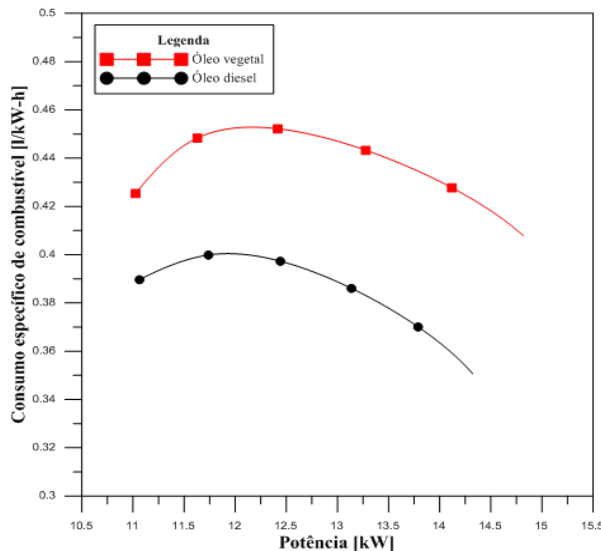
- Disponibilização do combustível em sistemas isolados.
- Eletrificação de comunidades isoladas e uso em motores de embarcação.



BIOMASSA COMBUSTÍVEL LÍQUIDA

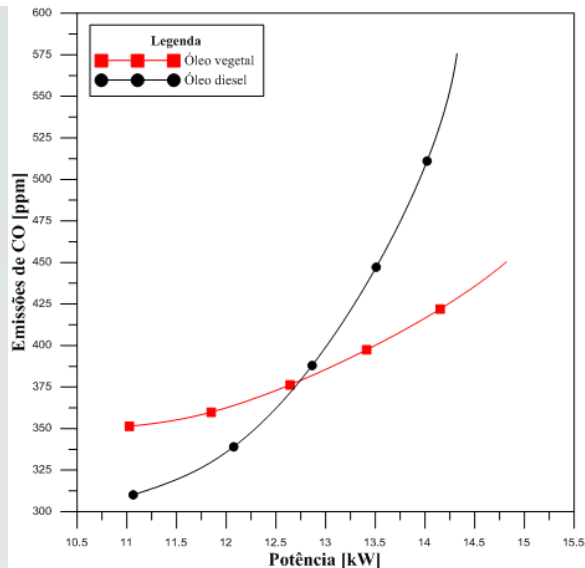
Uso direto de óleos vegetais in natura

Injeção Indireta

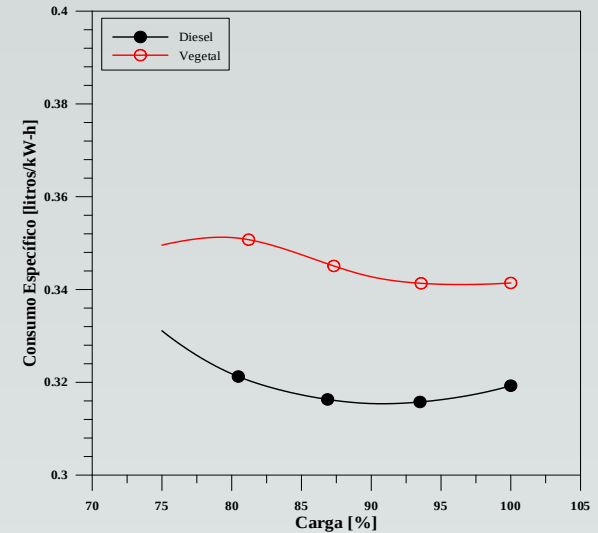


Consumo Específico (l/kWh):
Vermelho= O. Dendê;
Preto = diesel B5

Emissão de CO:
Vermelho = O. dendê;
Preto = diesel B5



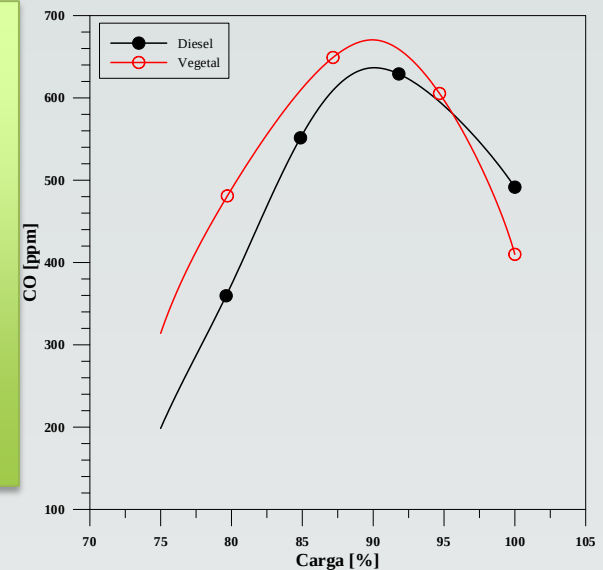
Injeção Direta



Com altas cargas, dendê tem desempenho satisfatório

Operação a baixa carga é insatisfatório e precisa ser melhorado:

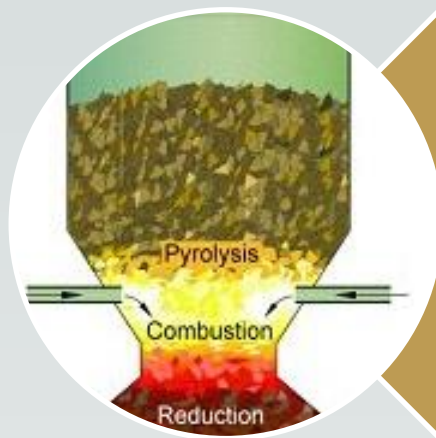
- aumentando a pressão de injeção;
- Reduzindo o tamanho de gota;
- avançando o ponto de injeção;
- Enriquecendo a mistura com oxigênio ou hidrogênio;
- Outras alternativas.



Piston head after 21 h of idle operation (direct injection)
Consequence of low combustion temperature.



TECNOLOGIAS



Gasificação

Gasification Chemistry



Charcoal



Oxygen



Steam

From M. Ramezan (2004)

Gasification with Oxygen



Combustion with Oxygen



Gasification with Carbon Dioxide



Gasification with Steam



Gasification with Hydrogen



Water-Gas Shift



Methanation



Gasifier Gas

Composition

(Vol %)

H_2 25 - 30

CO 30 - 60

CO_2 5 - 15

H_2O 2 - 30

CH_4 0 - 5

H_2S 0.2 - 1

COS 0 - 0.1

N_2 0.5 - 4

$\text{NH}_3 + \text{HCN}$ 0 - 0.3

Ash/Slag/PM

BIOMASSA COMBUSTÍVEL EM GÁS

USO FINAL em

Motores de Combustão Interna

Veicular;

Geração elétrica.

Caldeiras para produção de vapor e utilização como fonte de calor em processos industriais.

Fornos para a geração de calor em processos industriais de maneira direta.

Insumo Químico: conversão de gás de síntese em produtos químicos de alto valor agregado como diesel, gasolina, amônia, metanol, etc..

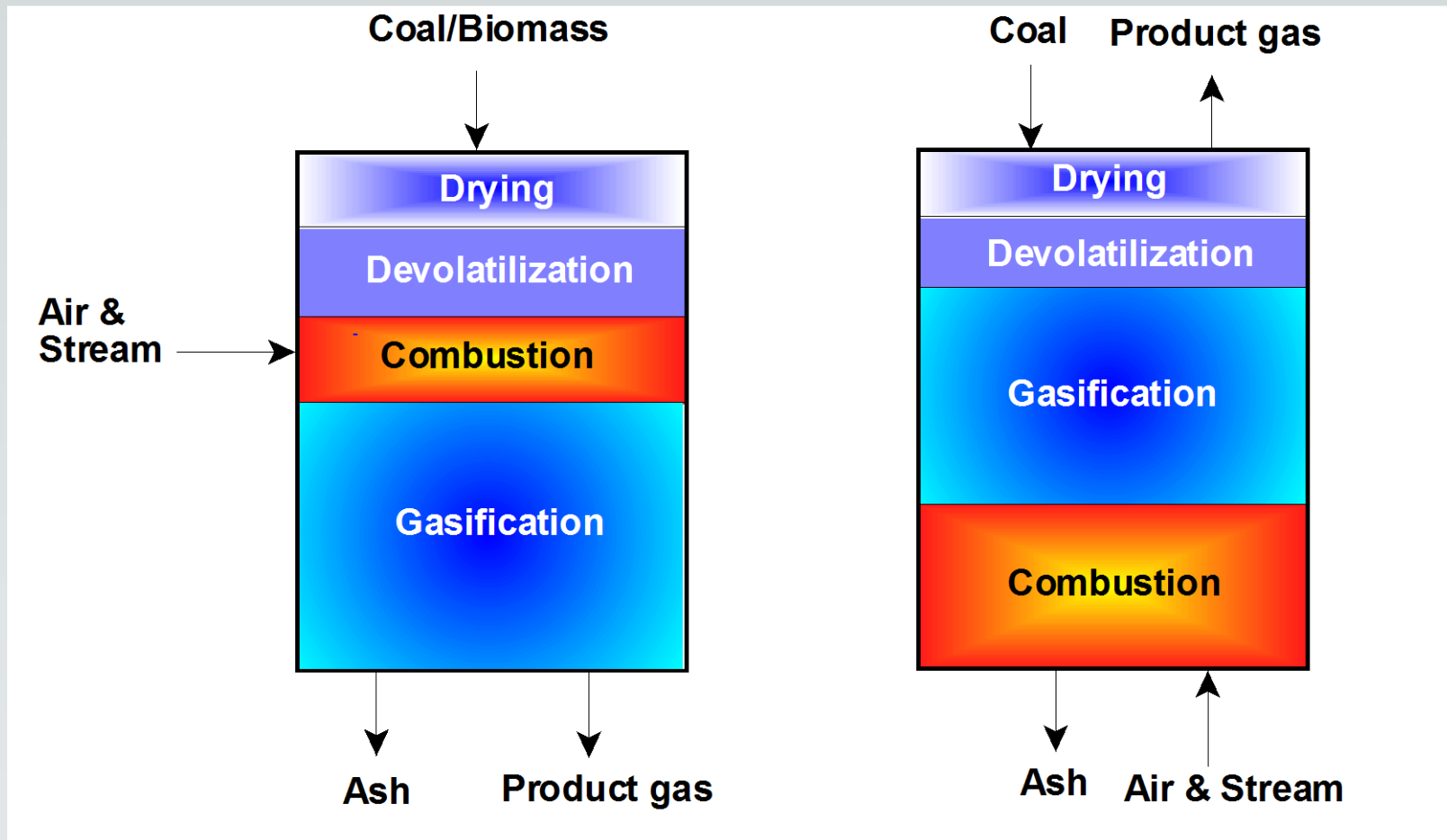
- Gaseificação, é a conversão da biomassa em um gás combustível, através de sua oxidação parcial a temperaturas elevadas. Este gás é conhecido como gás pobre. Dele é extraídos o gás de síntese ($\text{CO} + \text{H}_2$), insumo para a produção de químicos de alto valor agregado.

- O conteúdo médio dos compostos combustíveis no gás resultante da biomassa é 15 a 30 % de CO , de 12 a 40% de H_2 e de 4,5 a 9% de CH_4 .

- O poder calorífico do gás fica na faixa entre 4 – 13 MJ/m^3 . Os menores valores correspondem à gaseificação com ar e os maiores à gaseificação com a adição de vapor de água.



SCHEMATIC FOR FIXED- OR MOVING-BED GAS PRODUCER



E.R. Monazam and L.J. Shadle, (1998).

BIOMASSA COMBUSTÍVEL EM GÁS

- O consumo específico médio de biomassa dos gasificadores em operação é de 1,1 – 1,4 kg/kWh naqueles que utilizam madeira e 2,0 – 3,5 kg/kWh quando o combustível é a casca de arroz;
- A eficiência média do sistema gasificador – MCI é de 13%;
- A fração de diesel substituída pelo gás é de 40 - 70%.
- O investimento específico em gasificadores de fabricação nacional, nos países em desenvolvimento é de 400 – 1.550 US\$/ kWe, e em gasificadores importados 850 a 4.200 US\$/kWe.



Processos Fundamentais

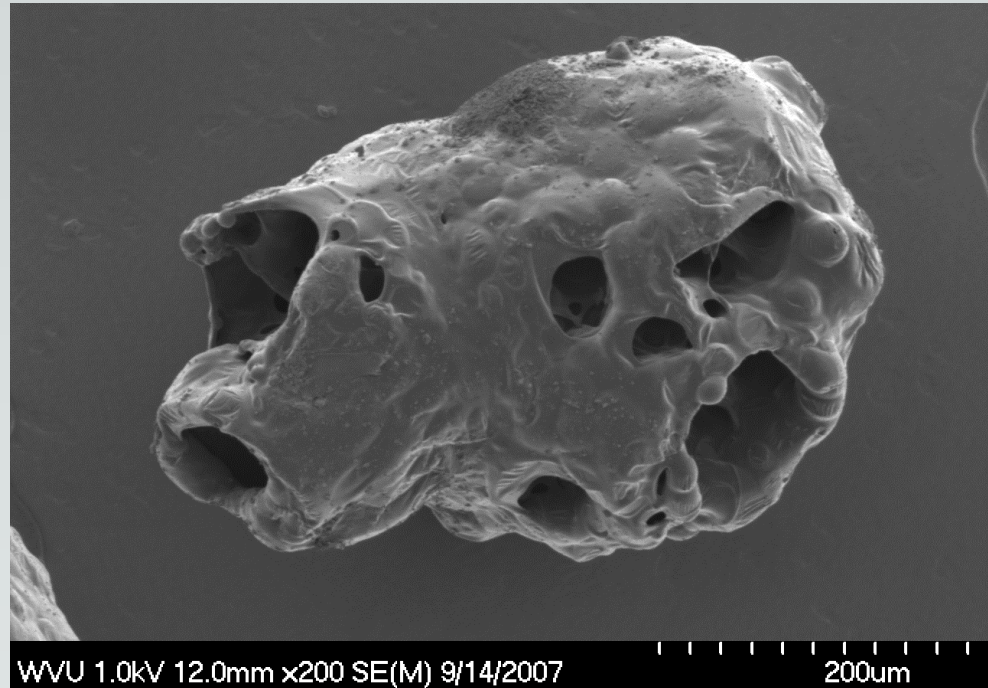
Secagem

Pirólise

Gasificação

Consequência desses processos

- Aumentam as dimensões
- Reduz a massa específica
- Índice de porosidade $\sim 0,9$ (90% de vazios).
- Área interna na ordem de 1000 m²/g



Excelente para
micro-filtragem

Fotografia de microscópio eletrônico mostrando carvão mineral ativado.

NETL

Sasol plant in South Africa



F-T PRODUCES 2ND GENERATION OF BIOFUELS

Biosyngas requires high pressure and temperature

BTL – biomass to liquid
CTL – coal to liquid

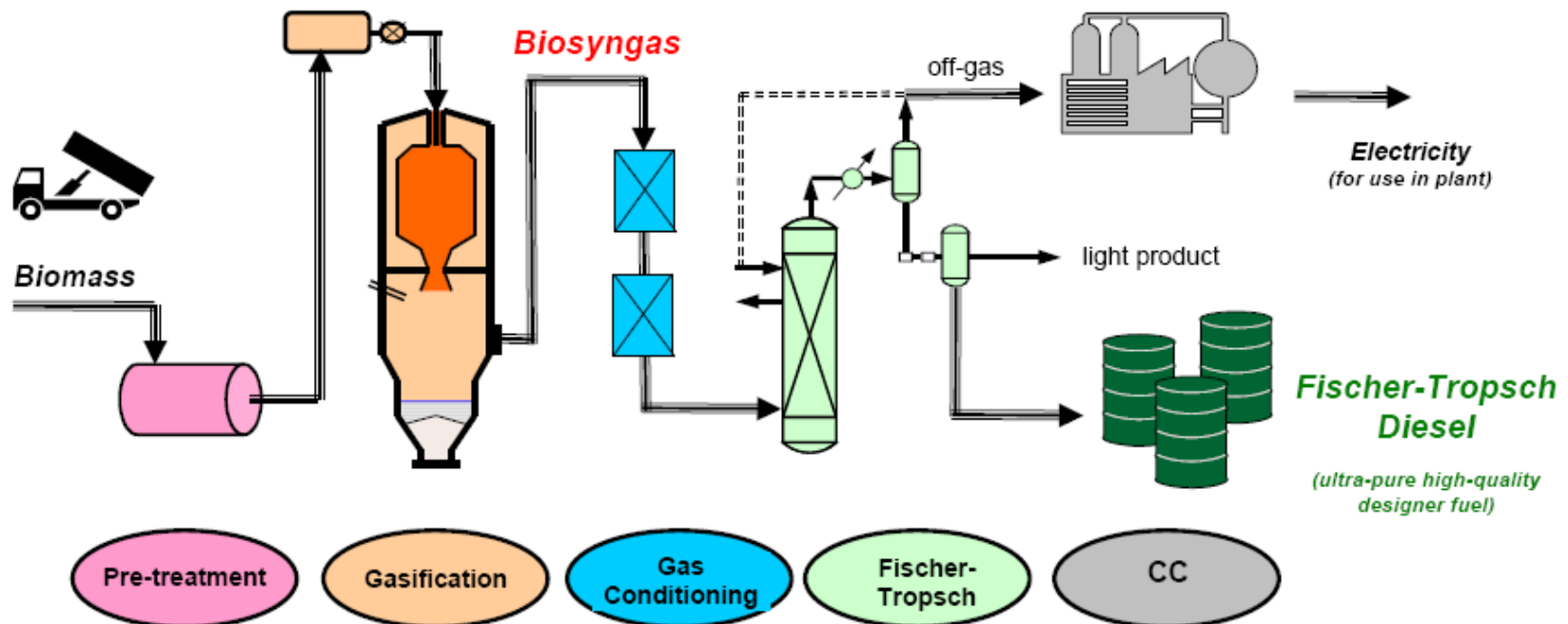
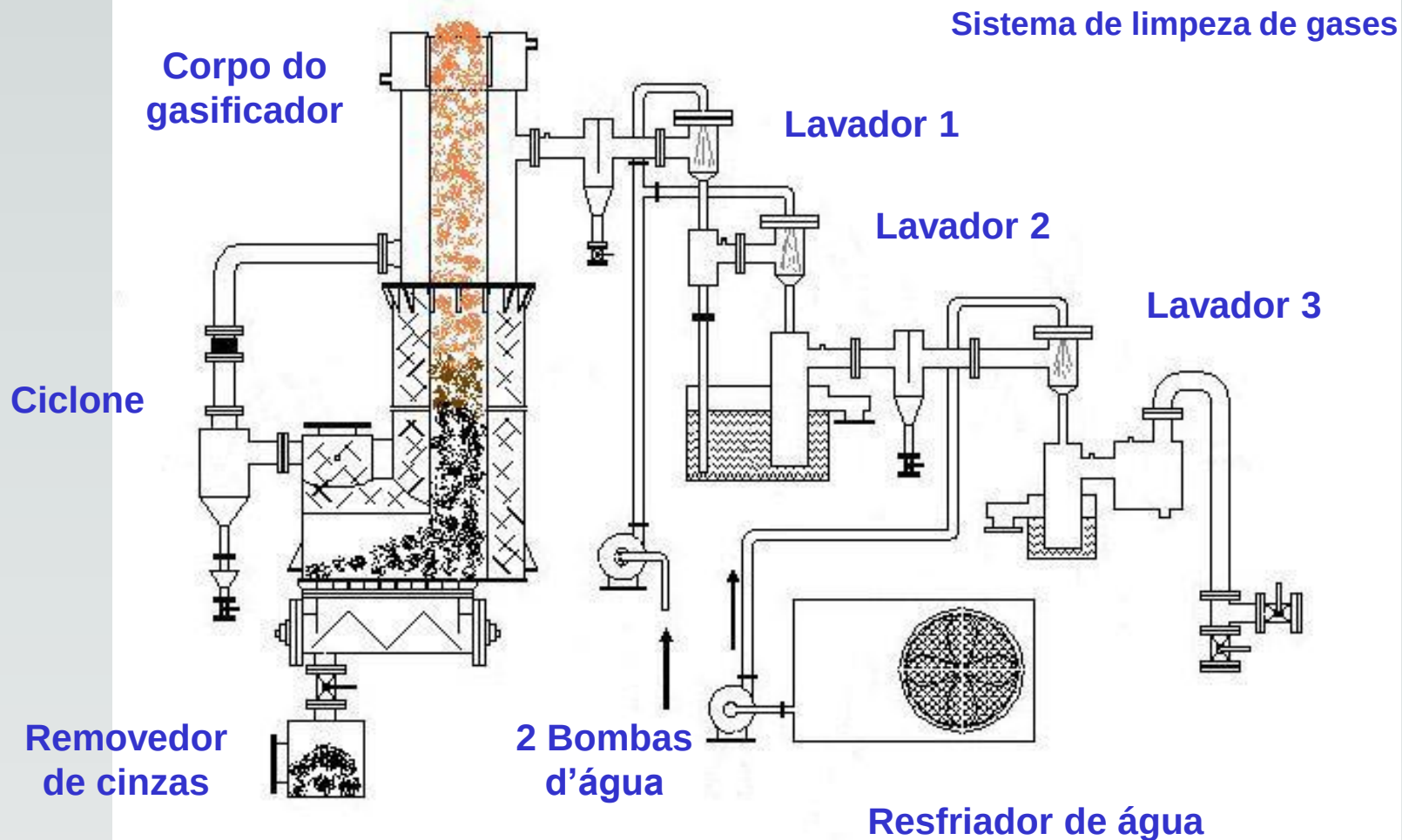


Figure 3.1. Schematic line-up of the integrated BTL plant.

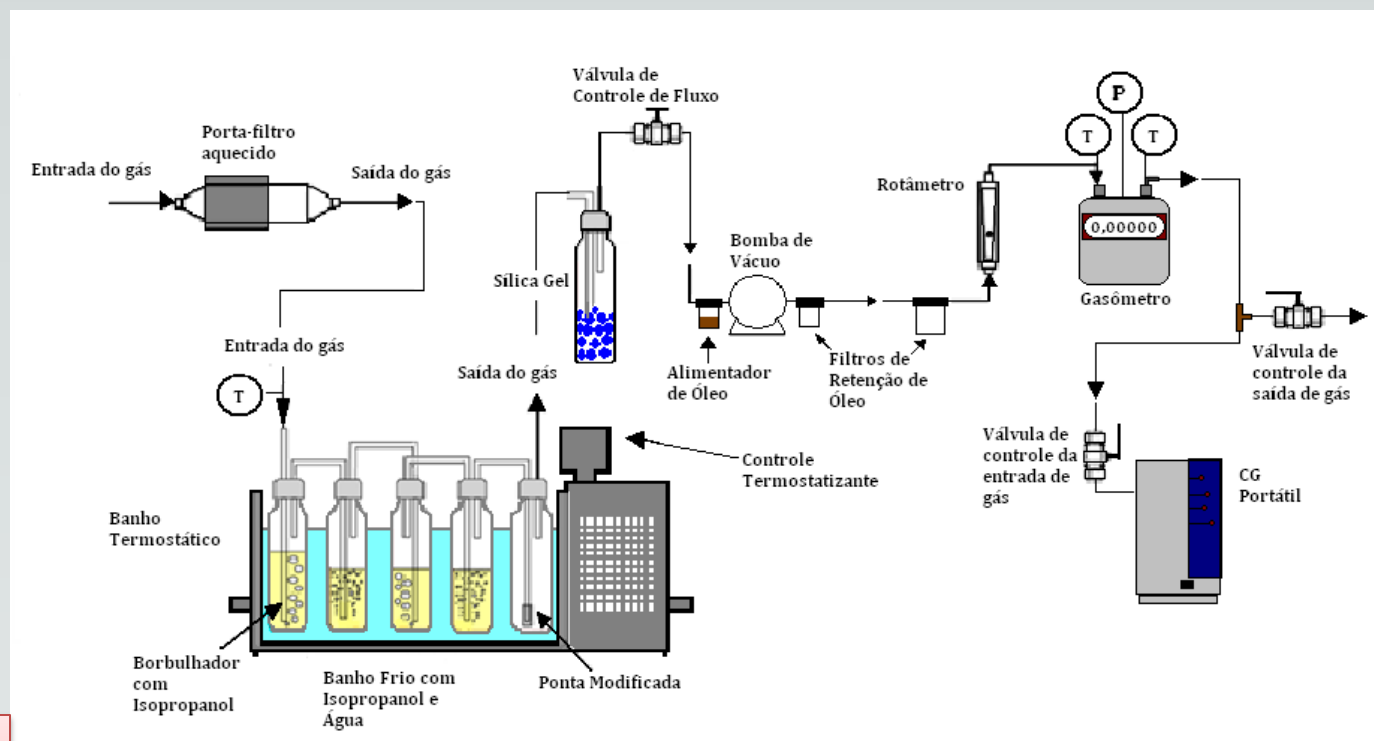
COMPONENTES PRINCIPAIS DO GASIFICADOR



DEVELOP SYSTEM TO QUANTIFY TAR CONTENT



Tar accumulation in the gasifier exit pipe line



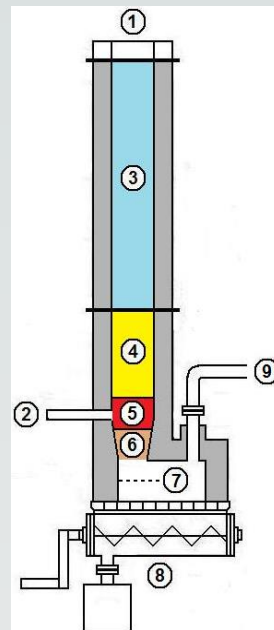
OPERATION WITH AÇAÍ SEEDS WITH AND WITHOUT PEEL



Açaí Fruit



Açaí Seed.



Legenda:

- 1. Entrada de ar superior e de biomassa;
- 2. Entrada de ar lateral;
- 3. Região de secagem;
- 4. Região de pirólise;
- 5. Região de combustão;
- 6. Região de redução do resíduo carbonoso;
- 7. Grelha;
- 8. Coletor de resíduos;
- 9. Saída dos gases para o sistema de limpeza.

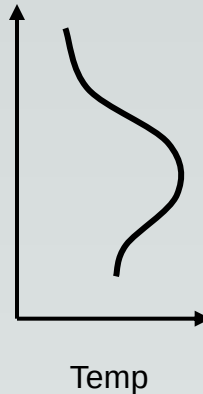
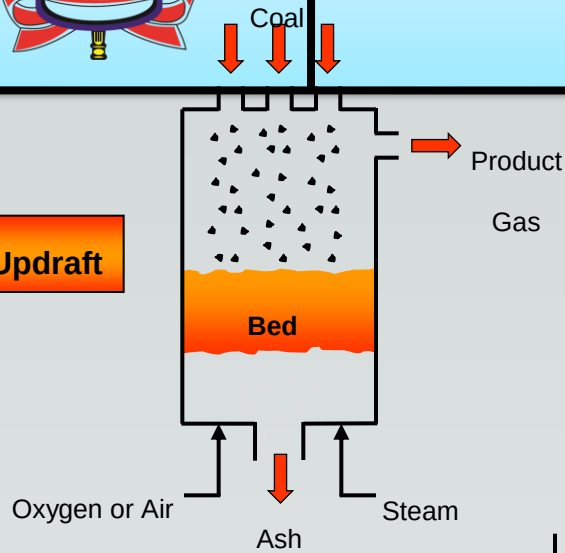


Types of Gasifiers

1) Moving Bed



Updraft



Countercurrent Flow

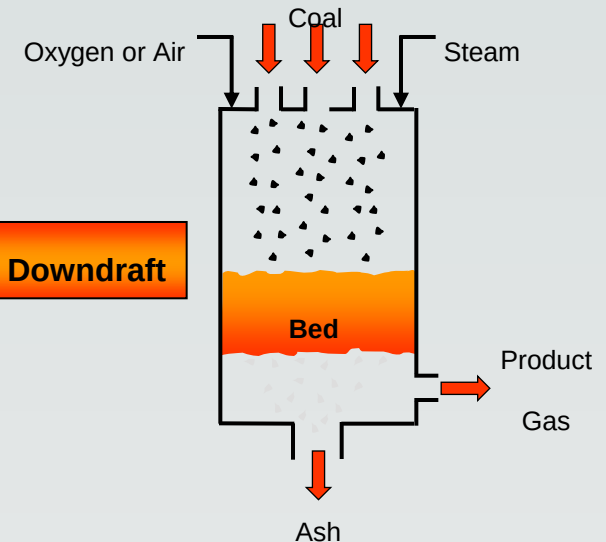
- Product Gas “COLD” (425-650°C)
- Tars in Product Gas
- Ash can be Dry or Slagging

Co-current Flow

- Product Gas “HOT” (700°C)
- Little Tar in Product Gas



Downdraft

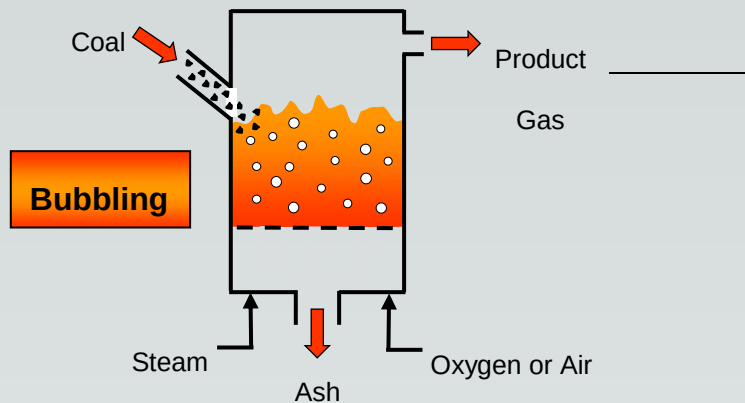




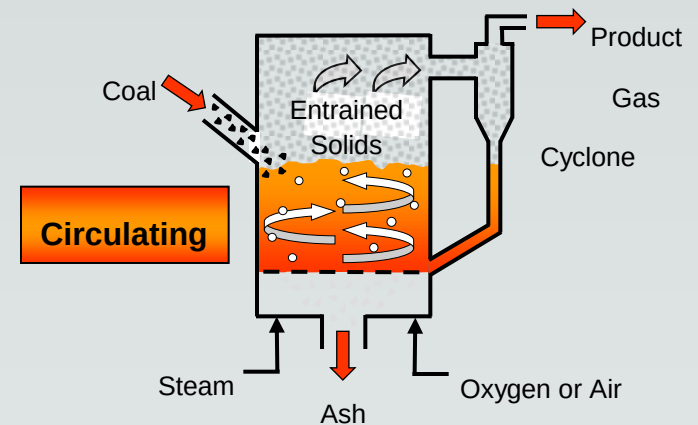
Types of Gasifiers

2) Fluid Bed

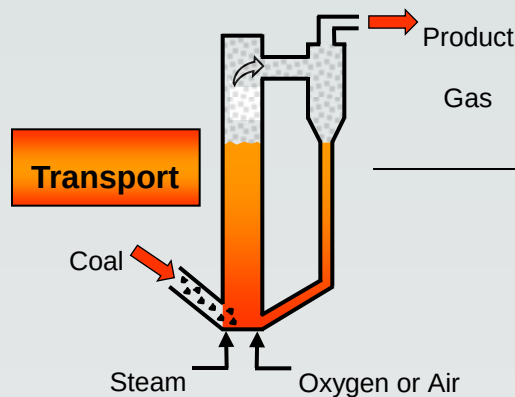
Product Gases 900 - 1,050°C



Low Gas Velocity (<3 m/s)
Solids Disengage from Gas



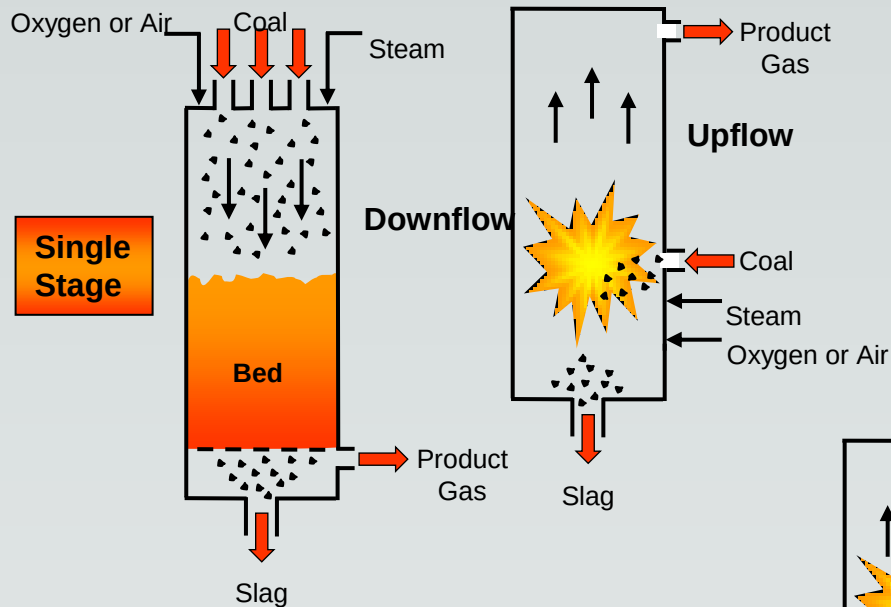
Moderate Gas Velocity (3-6 m/s)
Large Solids Disengage from Gas
Small Solids Entrained, then Recirculated



High Gas Velocity (>6 m/s)
All Solids Entrained, then Recirculated

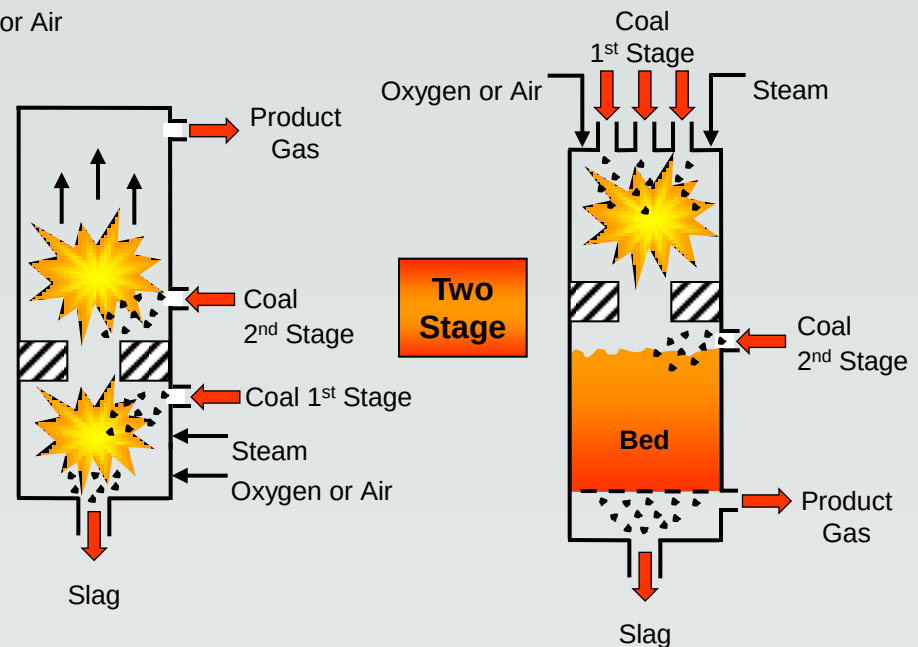
Types of Gasifiers

3) Entrained



High Temperature ($>1,250^{\circ}\text{C}$)
+ Ash Removed as Inlet Slag
+ High Carbon Conversion
+ Negligible Tars
- High Oxygen Consumption

High Temperature First Stage ($>1,250^{\circ}\text{C}$)
Second Stage Uses Heat From First
+ Lowers Oxygen Consumption
+ Reduces Product Gas Temperature



BIOMASSA COMBUSTÍVEL EM GÁS

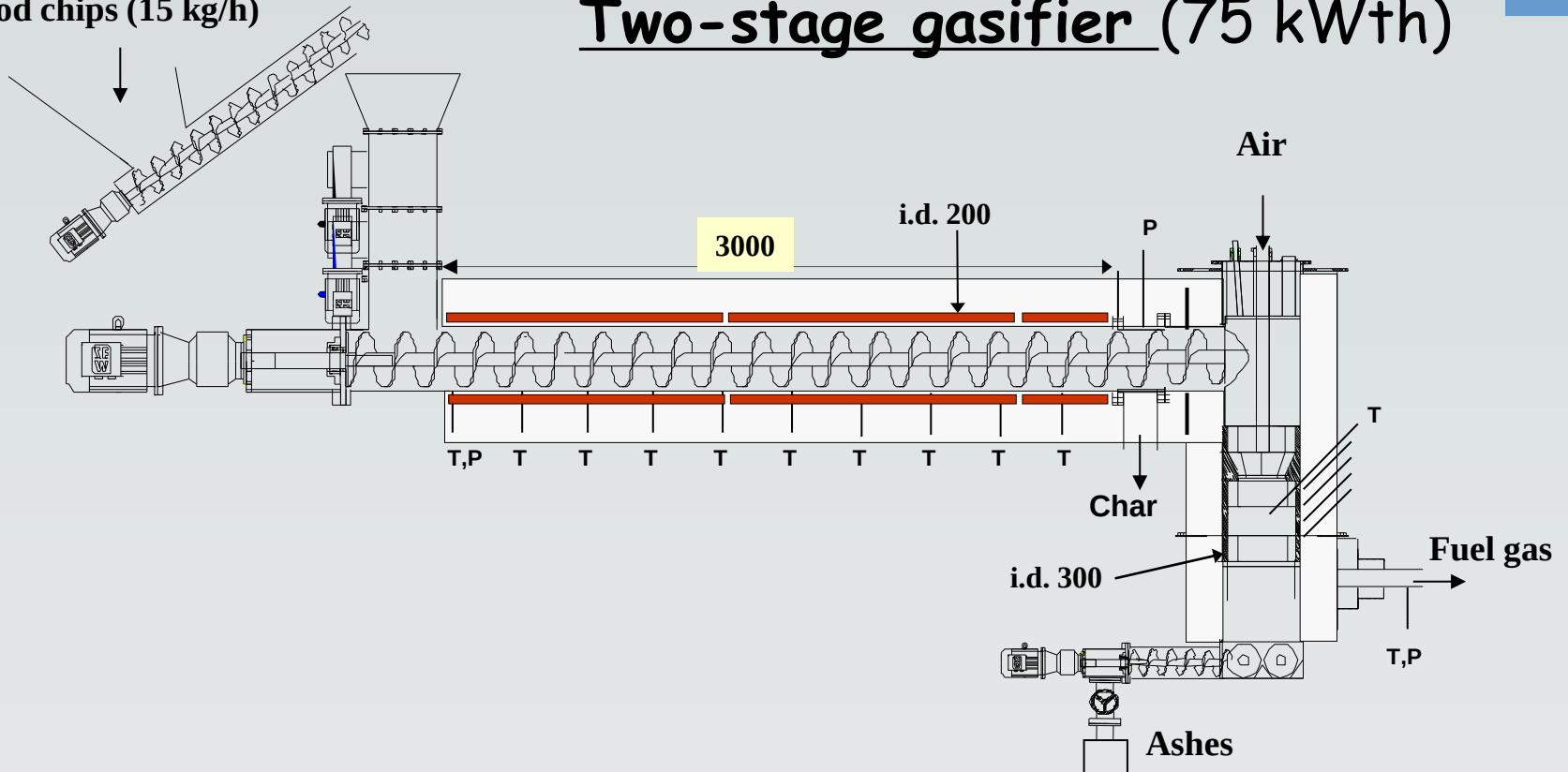
Estratégia de sucesso: queimar o alcatrão dentro do reator

TK Energi AS



Two-stage gasifier (75 kWth)

Wood chips (15 kg/h)



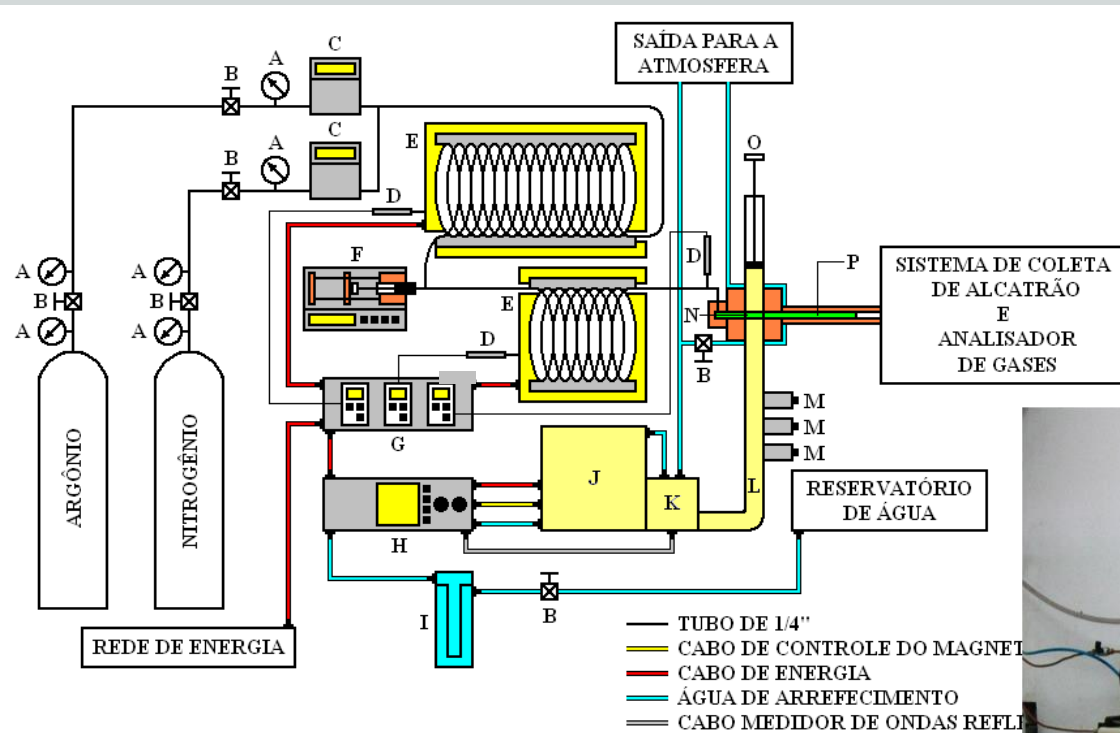
Projeto: "Gasificador de dois estágios (Viking) para comunidades isoladas "



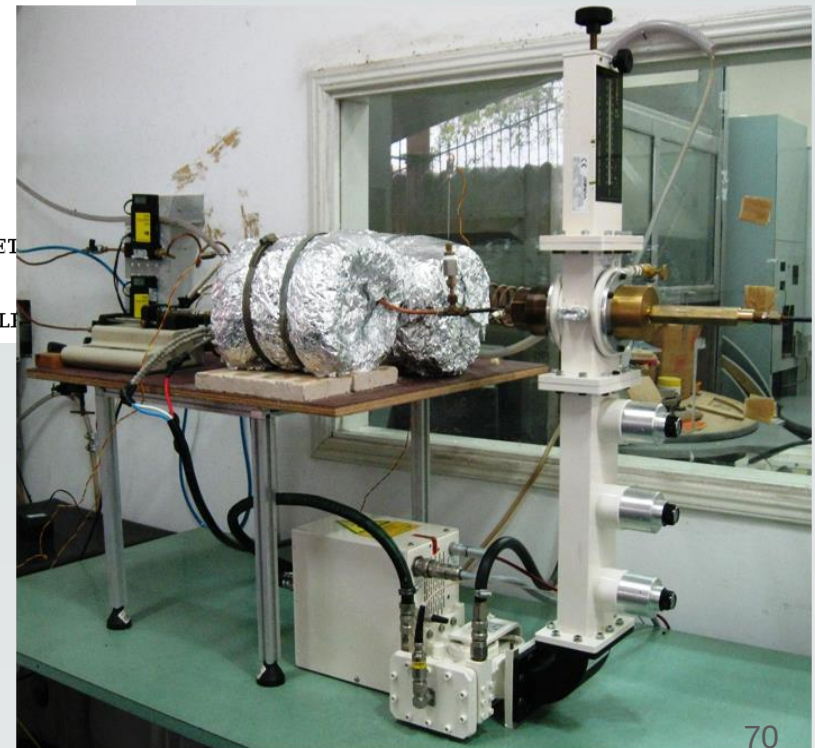
- **Gasificação de caroço açaí.**
- **Geração de energia elétrica.**



Plasma Reactor to convert tar into smaller species



Reactant : Argon-Nitrogen-H₂O-
Tar/Ethanol





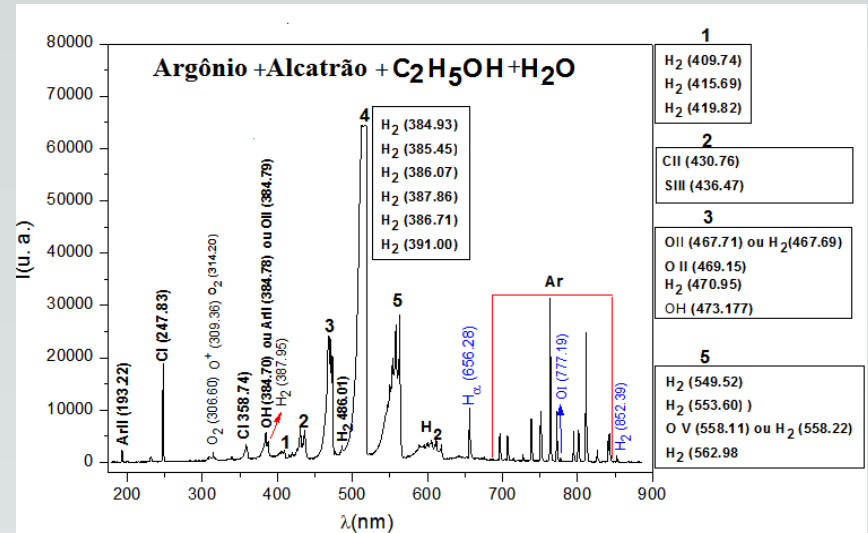
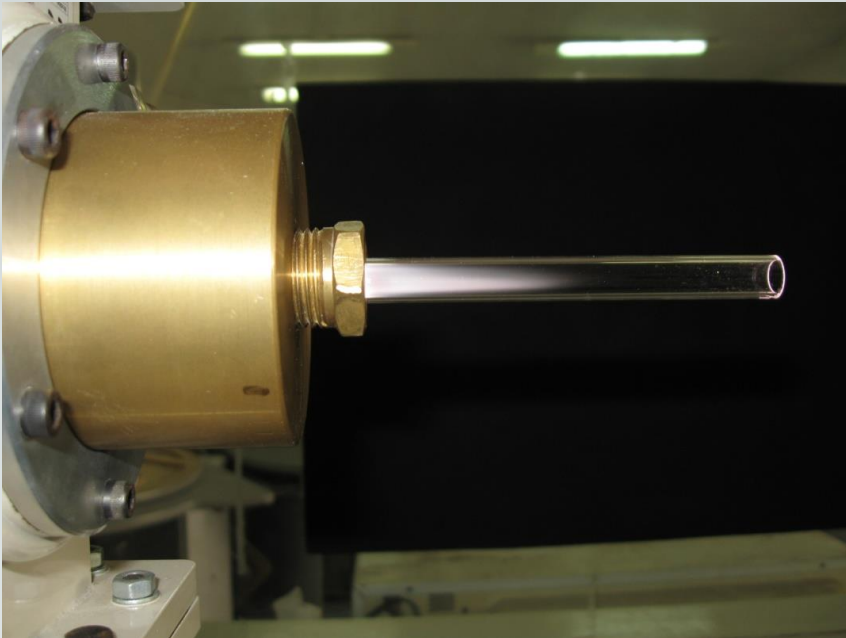
COMPARAÇÃO ENTRE COMBUSTÃO E GASIFICAÇÃO



Parâmetro de Escolha	Equipamento			
	Caldeira + Máquina a vapor	Caldeira + Turbina a vapor	Gasificador + Motor a centelha	Gasificador + Motor a diesel
Potência (kVA)	40 – 250	250 – 150.000	1 – 25	25 – 500
Eficiência (%)	9 – 15	13 – 25	20 – 30	25 – 35
Maturidade tecnológica	Sim	Sim	Não	Não
Custo de investimento R\$/kW	2.700	2.400 (> 1MW) 2.800 (< 1MW)	5.000	6.000
Custo de operação e manutenção R\$/kWh	140	150	500	500
Intermitência de fornecimento	Sim	Não	Sim	Sim
Flexibilidade variação de carga	Sim	Pouca	Pouca	Sim
Manutenção	Frequente	Pouca	Pouca	Frequente

Results

Optical Spectroscopy Result



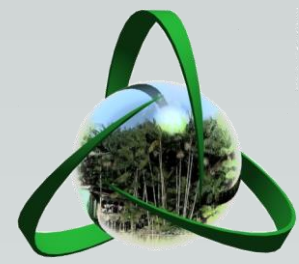
- No tar detected in the gases at reactor exit.
- carbon deposit was found on the reactor quartz wall .
- Hydrogen was seen.



UFPA

Universidade Federal do Pará

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Faculdade de Engenharia Mecânica
Grupo de Energia, Biomassa e Meio Ambiente



EBMA

Energia Biomassa e Meio Ambiente



PFRH 37 – COPPE/RJ

Conversão de Biomassa Vegetal em Potência e Calor

Agosto 2014

Manoel Fernandes Martins Nogueira

mfmn@ufpa.br