
Melhorias no processo de pirólise da biomassa para produção de carvão vegetal

Alfredo NAPOLI



Sumário

I - Contexto

II - Os processos de pirólise

III - Os principais caminhos de melhoria

IV - Alguns exemplos de melhoria a nível de P&D

V - Conclusões e perspectivas

I - Contexto

Porque produzir carvão vegetal hoje ?

Países tropicais em desenvolvimento :

- Principal fonte de energia com a biomassa na África e Ásia
- Madeira nativa - Problema do desmatamento
- Uma cidade Phnom Penh : 350 000 t carvão/ano

Países tropicais desenvolvidos :

- Para ser usado principalmente na indústria siderúrgica : Brasil é o único caso
- Madeira plantada e nativa - evolução para um sistema sustentável ?
- Uma usina siderúrgica : 300 000 t carvão/ano

Países tropicais desenvolvidos :

- Para lazer (churrasco)
- Resíduos da indústria madeireira
- França : 60 000 t carvão/ano

I - Contexto

Qual futuro para o carvão vegetal ?

Longo prazo : Imaginar o futuro sem Carbono fóssil, de forma sólida, líquida ou gasosa ?

Médio prazo : Desenvolver tecnologias mais eficientes

Países tropicais em desenvolvimento :

- Fonte de energia independente garante o desenvolvimento ?

Países tropicais desenvolvidos :

- Desenvolvimento industrial, independência energética de forma sustentável,...

Países tropicais desenvolvidos :

- Carvão vegetal como um dos vetores energéticos limpos do futuro?
- Tentar solucionar o problema ambiental com a produção de Carbono Vegetal para tecnologia de gaseificação - fischer tropesch, etc...

I - Contexto

Quais problemas e como resolve-los?

Produzir biomassa de forma sustentável e transformá-la com adequadas qualidade do produto final

No caso do processo de pirólise : Desenvolver/melhorar tecnologias:

- De forma industrial e grande capacidade
- Economicamente viável
- Tecnicamente eficiente
- Socialmente justo

I - Contexto

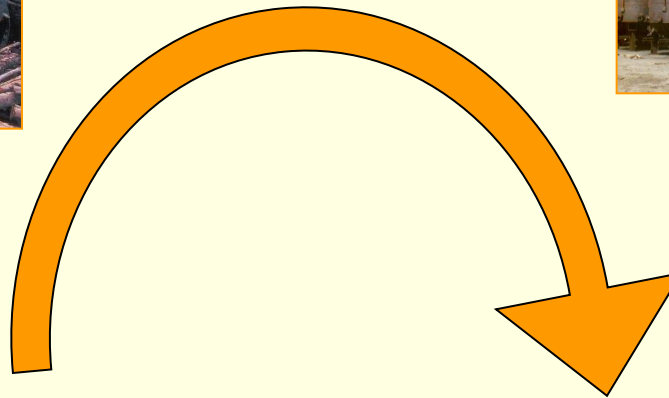
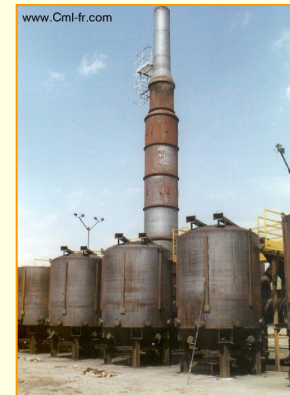
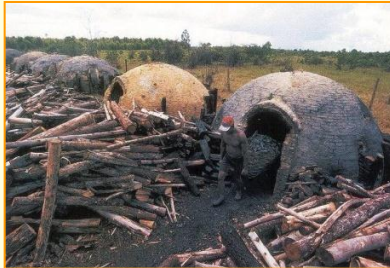
Infelizmente, não exista uma solução única que pode ser aplicada em qualquer lugar.

As soluções dependem dos fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

Brasil é um país modelo para esse desafio : produção de biomassa plantada com finalidade industrial para o carvão vegetal

II - Os processos de pirólise

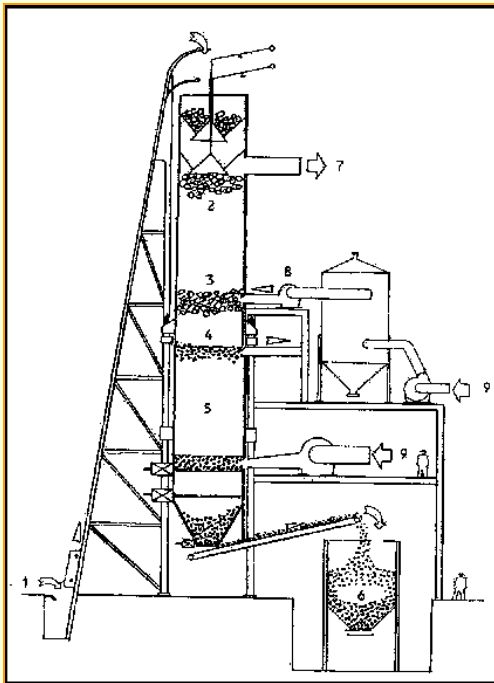
Do forno meda a planta contínua ... Com o tempo e a localização geográfica



II - Os processos de pirólise

Países industriais não tropicais : forno contínuo

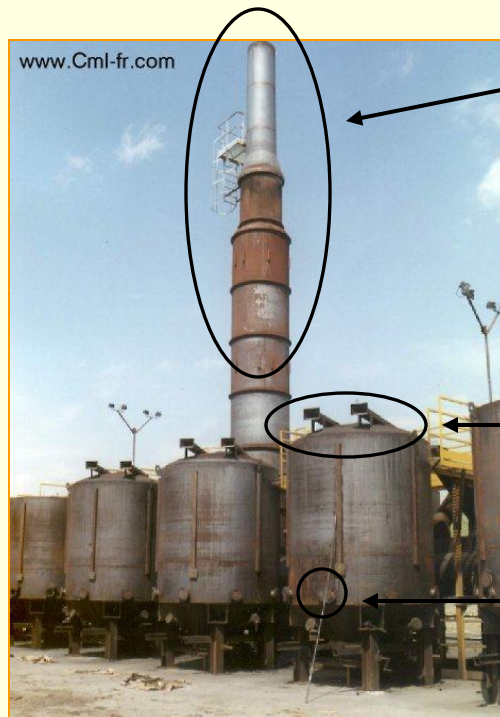
- Combustão parcial ou gás quente externo
- Forno vertical contínuo e automatizado
- Capacidade : 2 500 - 10 000 t/ano
- Material : Resíduos cortados
- Câmara de combustão dos gases
- Controle do processo de fluxo e temperatura
- Op. : Gas para secar
- Op. : Gas para produção eletricidade



II - Os processos de pirólise

Países industriais não tropicais : forno batch

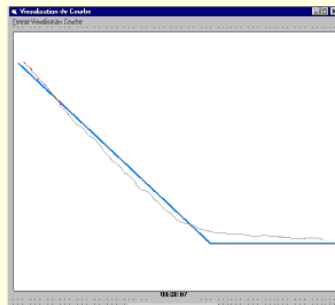
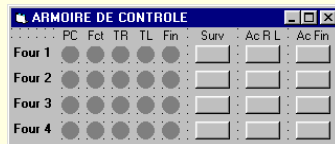
- Combustão parcial
- Bateria : 8 - 12 fornos juntos
- 1 forno : 16 m³
- Ciclo : 5 - 24 horas
- Material : Resíduos cortados
- Capacidade : 2 500 t/ano
- Câmara de combustão dos gases
- Op. : Controle do processo por peso



Combustão gases

Carga de madeira

Control do ar



Contrôle do peso

II - Os processos de pirólise

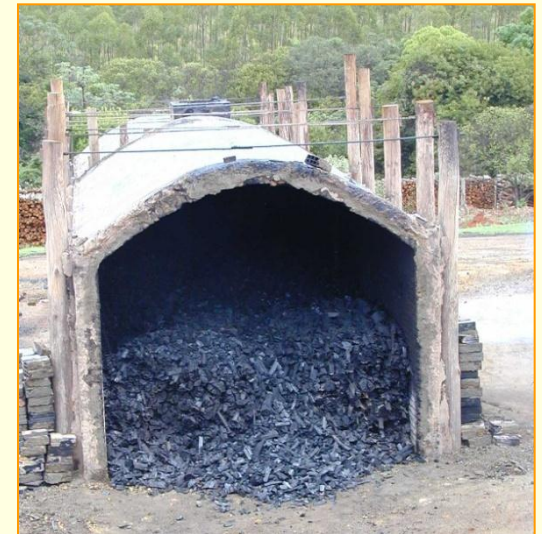
Países industriais tropicais : forno batch

- Combustão parcial
- 1 forno : 200-700 m³
- Capacidade : 2000 t/ano
- Ciclo : 15 dias
- Material : toras
- Opt. : Bateria : 2 fornos ou mais ?
- Opt. : Câmara de combustão dos gases
- Opt. : Controle do processo por temperatura



Carga de toras
de madeira e
descarga
carvão

Controle do ar



III - Os principais ações de melhoria

- Melhorar a produtividade
- Melhorar o balanço energético e ambiental
- Melhorar a qualidade do carvão

.... Relacionado com o custo final

Para desenvolver e melhorar os processos é preciso melhor entender os fenômenos que controlam a conversão da biomassa em carvão :

- o efeito da composição da madeira : lignina, celulose e hemicelulose,
- a importância das reações químicas : cinética das reações primárias e secundárias
- as limitações da transferência de calor e de massa

III - Os principais ações de melhoria

Melhoria da produção (com qualidade) :

Aumentar o rendimento carvão (atividade de P&D) :

- Influência do material - seleção clonal
- Influência dos parâmetros de pirólise : taxa, pressão,...

Aumentar a produtividade (t/ano) :

- com fornos batch :
Mesmo ciclo : aumentar o volume de forma simétrica
Mesmo volume : diminuir o ciclo : secagem, refriamento,...
- com forno contínuo :
Aumentar o tamanho ? Desafio industrial

III - Os principais ações de melhoria

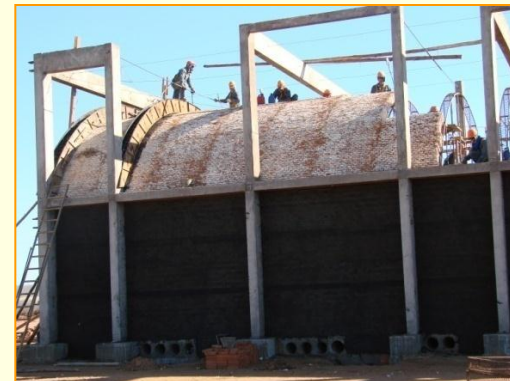
Melhoria da produção (com qualidade) :

Exemplos de melhorias com fornos batch

Aumento do tamanho



Redução do ciclo através do resfriamento



III - Os principais ações de melhoria

Melhorias energéticas e ambientais:

- Reduzir o gasto energético, principalmente da parte de secagem
- Valorização dos sub-produtos (40% da energia da madeira)
- Redução dos gases de efeito estufa
- Modificação do balance energético das reações de pirólise (favorecer as reações exotérmicas)

A combustão dos efluentes de pirolise no caso de reatores batch tem que ser queimados por meio de sistemas bateria para solucionar o problema de variações da qualidade dos gases durante o ciclo

III - Os principais ações de melhoria

Melhorias energéticas e ambientais:

Exemplos de melhorias com fornos batch

Queimador



Condensador e
queimador alcatrão



Bateria



III - Os principais ações de melhoria

Melhorar a qualidade do carvão :

- Controlar a qualidade do carvão na produção : não é fácil !
- Necessita estudos de P&D :
 - À nível microscópico
 - À nível macroscópico
 - À nível industrial

Macro ATG piloto industrial na V&M



Qualidade carvão é o resultado das interações entre a madeira e as condições de tratamento por cada etapa : secagem, torrefação, pirólise endotérmica depois exotérmica e resfriamento

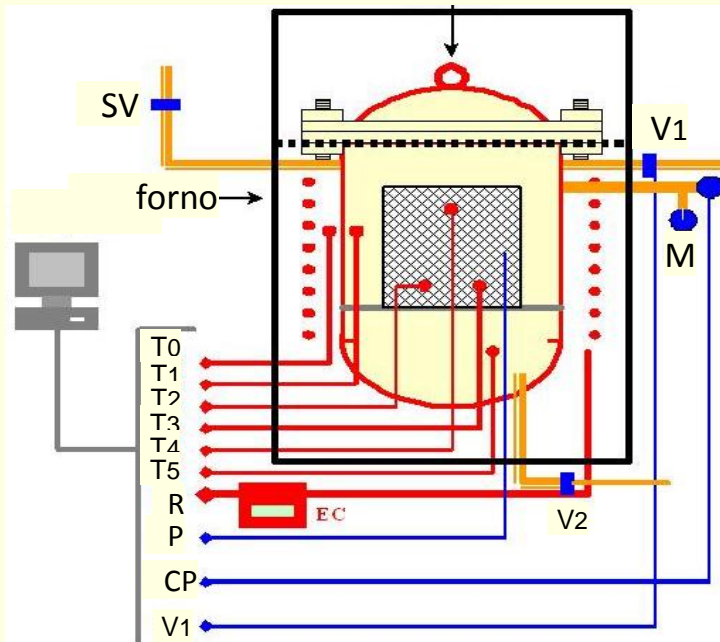
IV - Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D

Exemplo 1 : Aumentar o rendimento do carvão (com mesma qualidade)

Exemplo 2 : Desenvolver ferramentas rápidas de medição da qualidade do carvão como NIRS

IV – Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D

Objetivo : Estudar o efeito da Pressão, Temperatura e taxa na produção de carvão vegetal

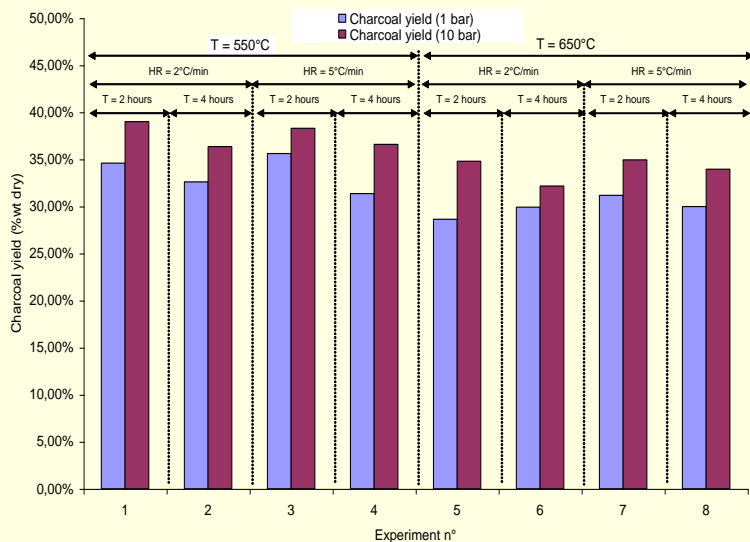


Reator piloto batch no Cirad (1MPa - 650°C)



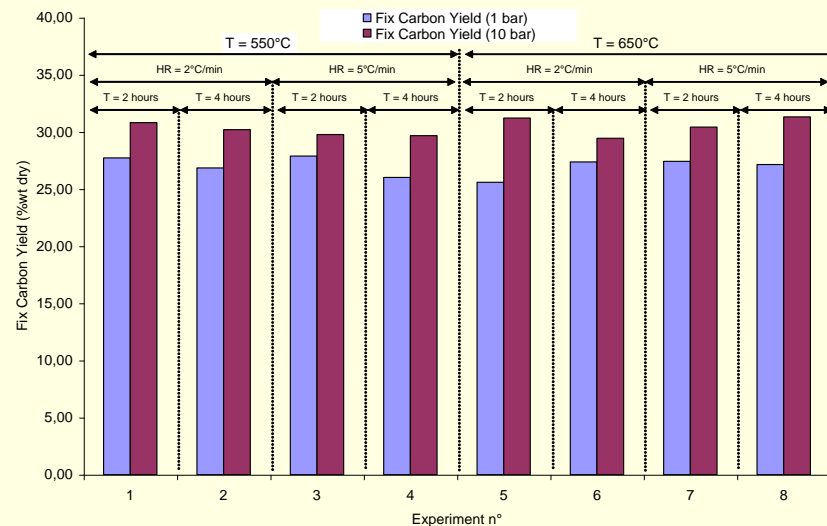
IV - Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D

O rendimento em carvão aumenta com a pressão alta (1 MPa) e taxa de aquecimento baixa (120°C/h)



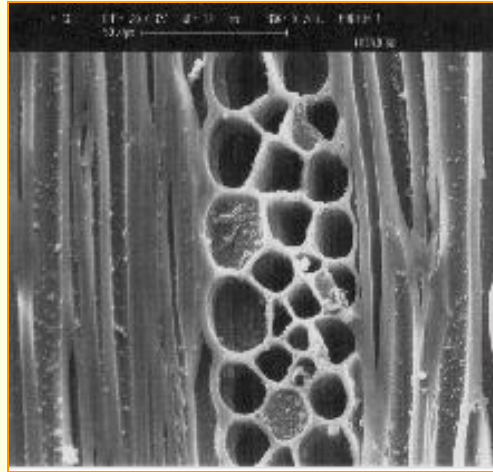
Rendimento carvão

O rendimento em carbono fixo aumenta com a pressão alta



Rendimento carbono fixo

IV – Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D



0,1 MPa



1 MPa

- Quais são os fenômenos que controlam/modificaram a pirólise ?
- Qual é o impacto de cada componente principal da biomassa na pirólise ?
Mudará as condições de seleção clonal ?
- Quais as mudanças nas propriedades do carvão vegetal ?

IV - Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D

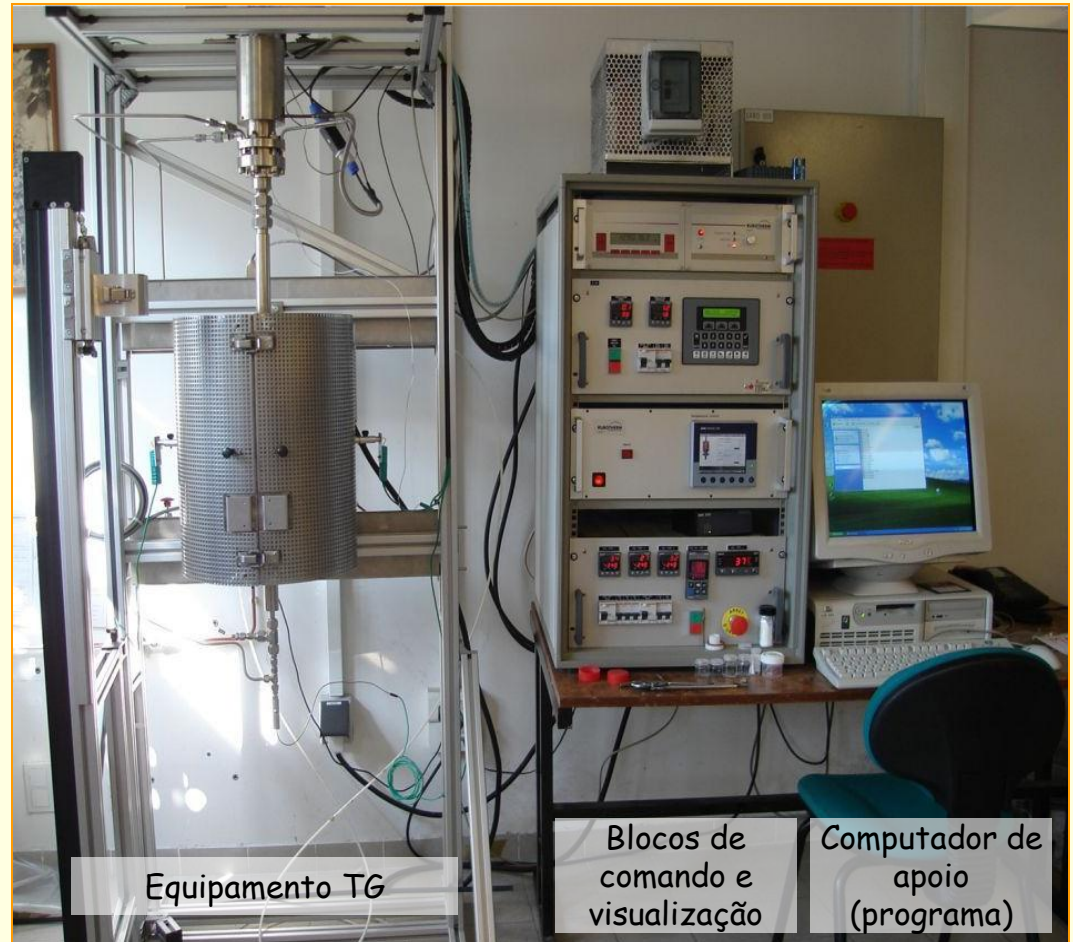
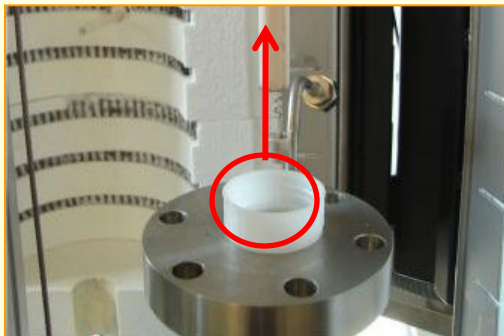
ATG Alta Pressão

Temperatura max : 1000°C

Pressão max : 15 MPa

Taxa max: 30 °C/min

Cadinho
(30 mg de amostra)



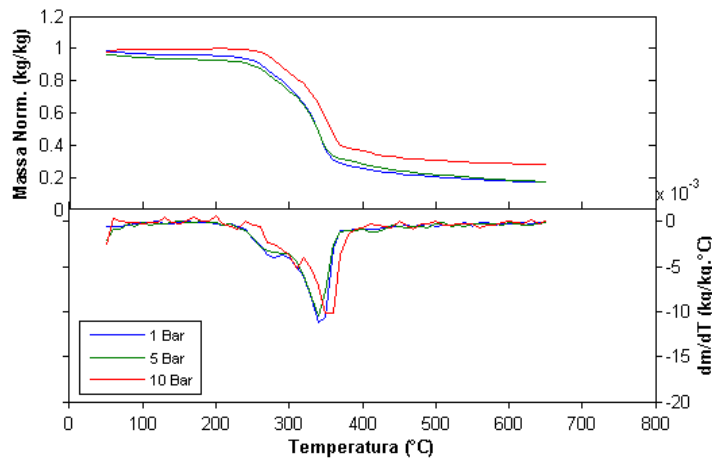
Equipamento TG

Blocos de comando e visualização

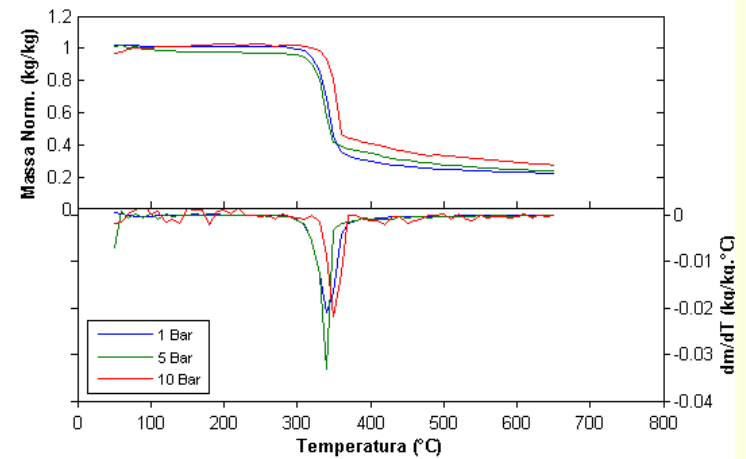
Computador de apoio (programa)

IV - Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D

ATG Eucalyptus
E. urophylla x E. grandis



ATG Cellulose



- Pesquisa sobre relações taxa de aquecimento, pressão e rendimento em carvão vegetal
- Avaliar o efeito das reações secundárias

IV - Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D

Objetivo : Desenvolver medição rápida das propriedades do carvão para um maior controle do processo e do produto final

Amostra moída



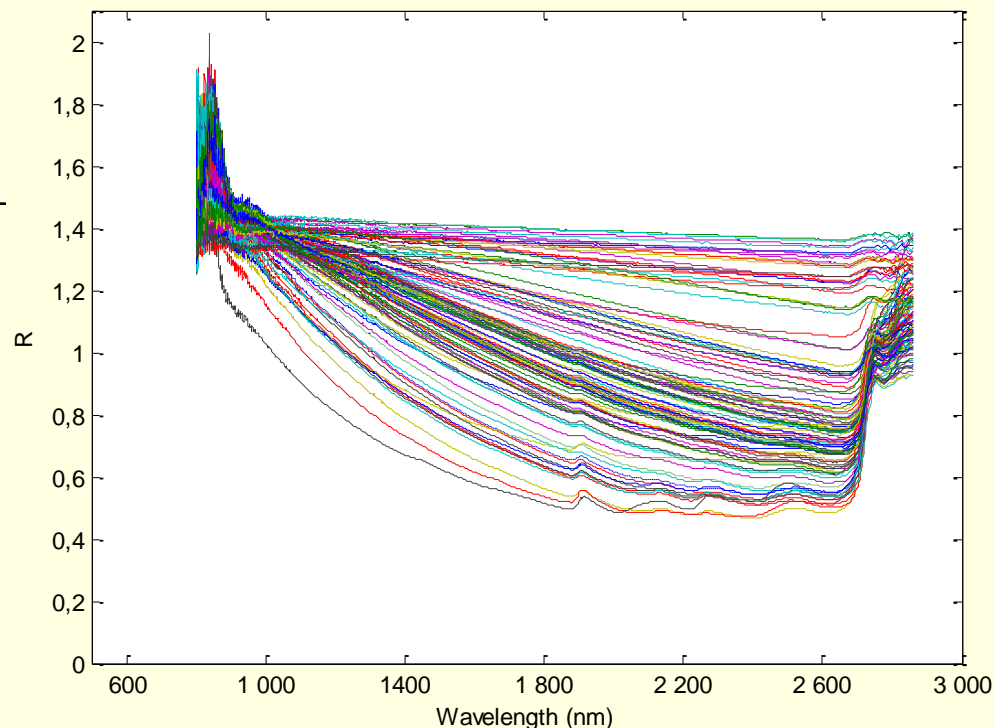
Modo de reflexão difusa $R = 1/(\log A)$

Faixa espectral: 800 - 3.500 nm [12.500 -3.500 cm^{-1}]

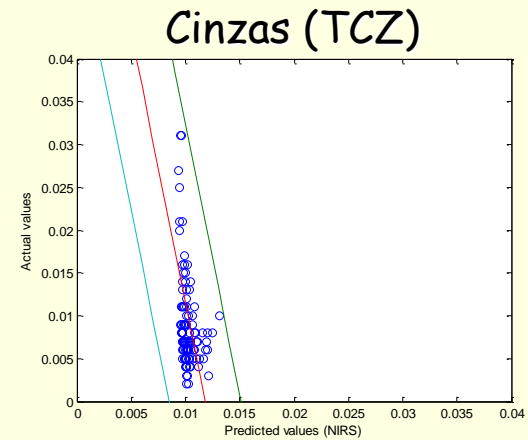
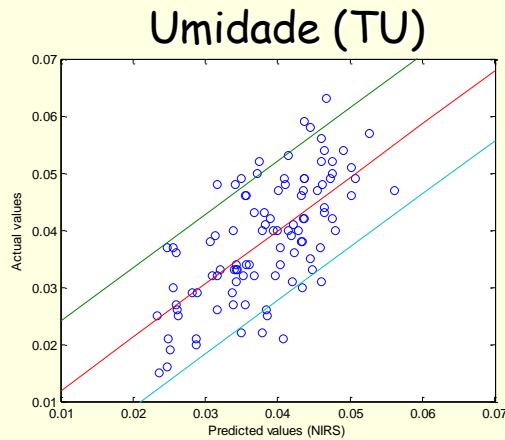
Resolução espectral: ~ 2 nm [8 cm^{-1}]

IV - Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D

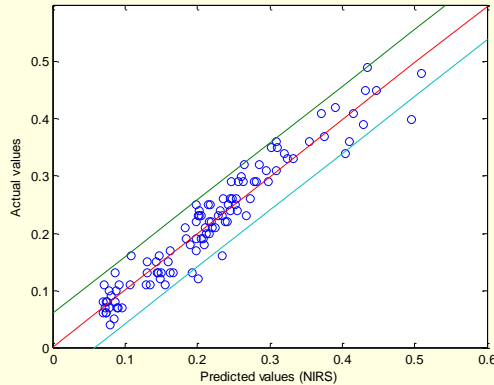
Propriedade estudadas	Intervalo (%)
<i>Umidade (TU)</i>	1,46 - 6,31
<i>Materiais voláteis (TMV)</i>	3,52 - 48,50
<i>Cinzas (TCZ)</i>	0,16 - 6,37
<i>Carbono fixo (TCF)</i>	49,50 - 95,70



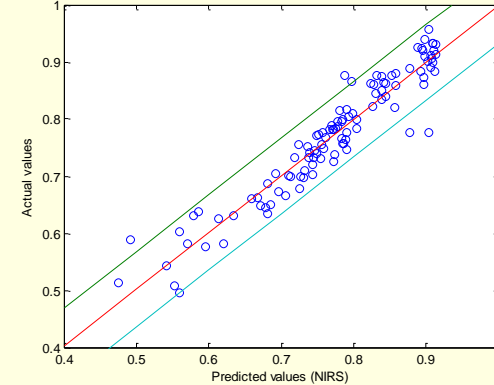
IV - Alguns exemplos de melhoria á nível de P&D



Materiais voláteis (TMV)



Carbono fixo (TCF)



V - Conclusões e perspectivas

Melhorias no processo de pirólise da biomassa para produção de carvão vegetal

- Fornos batch em bateria pode ser uma opção interessante ... é um desafio
- Outros fornos industriais de tipo contínuo é a outra opção e também um desafio
- A qualidade do carvão e as interações com a biomassa original tem que se pesquisar mais em relação com o uso final

V – Conclusões e perspectivas

- O Carvão Vegetal tem um futuro promissor produzido com biomassa adquirida de forma sustentável
- O carvão vegetal pode ser uma das opções para solucionar o problema de desenvolvimento industrial dos países tropicais junto com o problema ambiental mundial
- Os processos de pirólise têm um desafio grande : Desenvolver tecnologia industrial de grande capacidade, limpa, tecnicamente eficiente, socialmente justo e economicamente viável

Obrigado !

Contato

- Alfredo.napoli@cirad.fr (CIRAD - UFLA - V&M)
- Philippe.petithuguenin@cirad.fr (Diretor Cirad Brasil)
- Bernard.mallet@cirad.fr (Novo Diretor Cirad Brasil)

Agradecimentos:

- Prof. Brito - ESALQ
- Prof. T.J. Lima e P.F. Trugilho e Renato, Ana Carolina e Paulo - UFLA
- Dr. T.J Raad - V&M
- Ing. P. Gallet, Dr L. Brancheriau, Dr G. Chaix - CIRAD