



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Combustão de partícula de biomassa

Prof. Dr. Waldir A. Bizzo

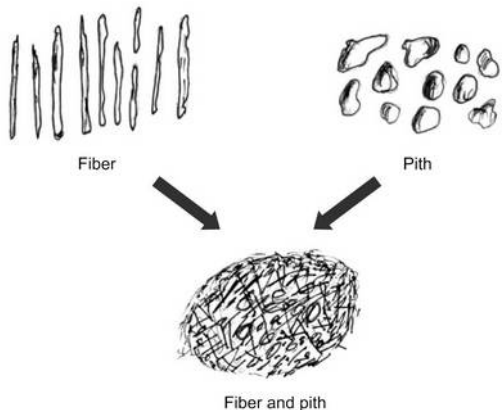
**Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Mecânica**



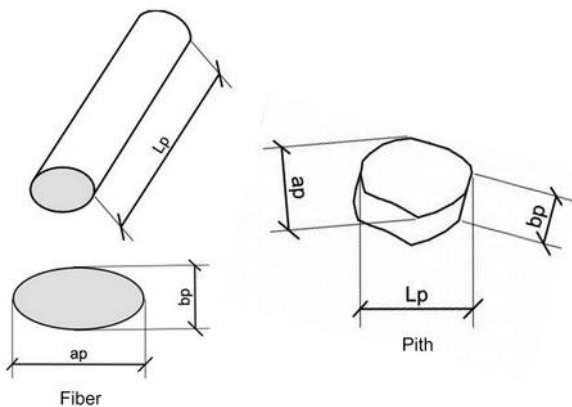
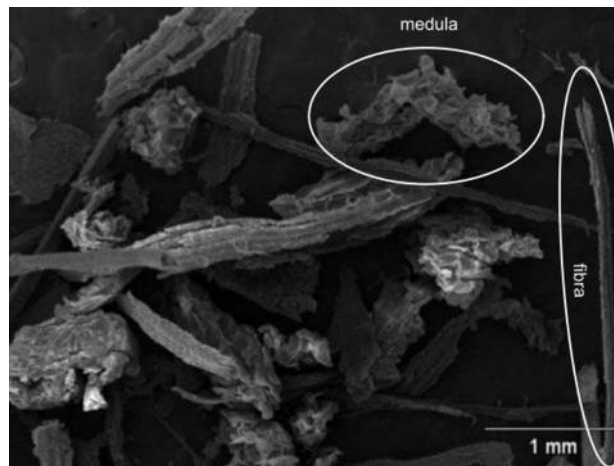
UNICAMP



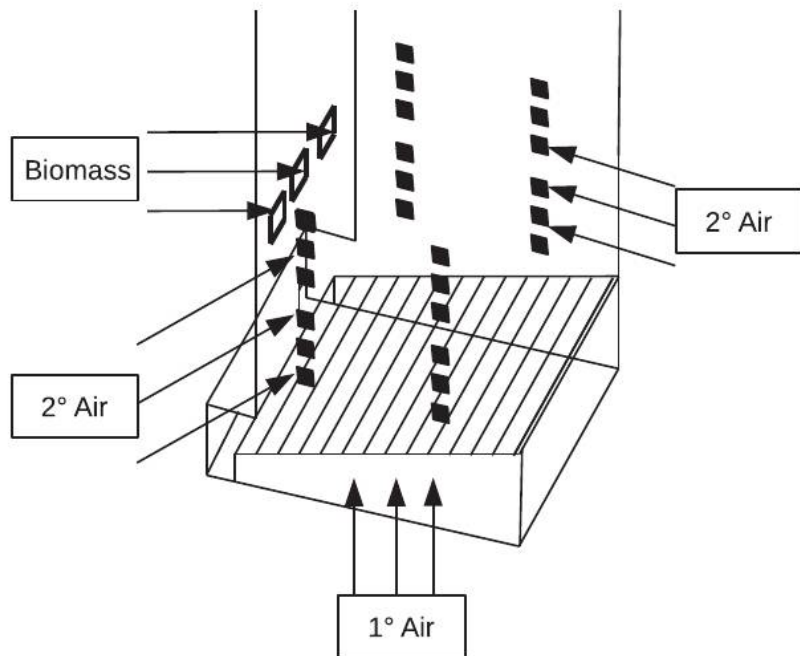
Características do bagaço de cana



Fibras e medula, 0,1 a 5 mm de diâmetro, comprimento até 50 mm



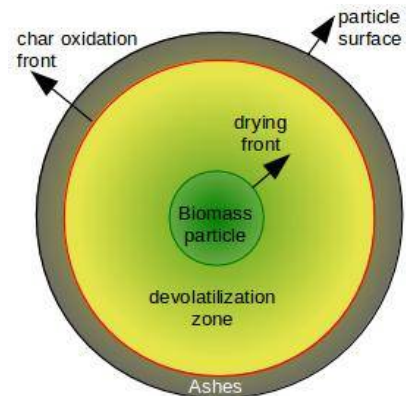
Sistema de combustão em grelha e suspensão



- Partícula é alimentada por espalhadores, 3 a 6 m acima da grelha
- Ar primário é alimentado na grelha, pode ser pré-aquecido
- Ar secundário é alimentado acima do leito, em vários pontos e alturas

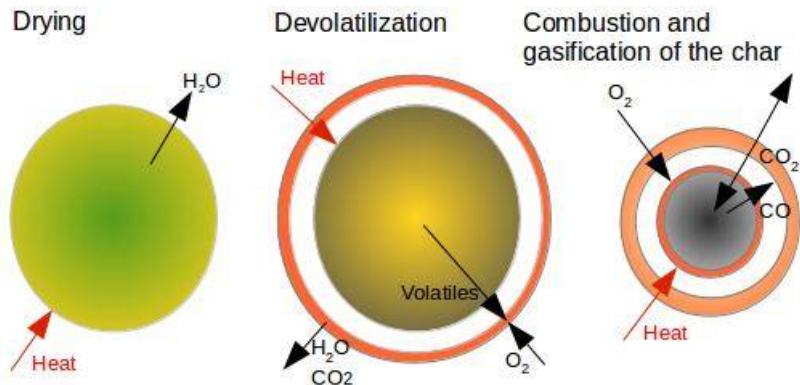
(Cereijo, Curto-Risso and Bizzo, 2017)

Modelo simplificado para simulação da combustão de partícula em suspensão



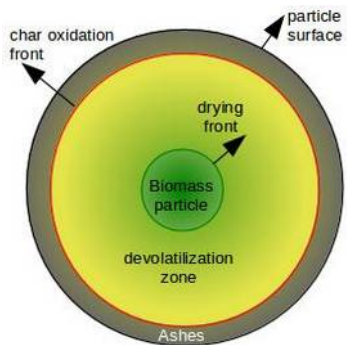
- Biomassa tem alto teor de voláteis (~80%)
- Biomassa tem umidade, às vezes tão alta quanto ~50%, como o bagaço
- Secagem e devolatilização são etapas importantes no modelo de combustão da biomassa

- Partículas pequenas podem ser modeladas em etapas sequenciais:
 - secagem
 - devolatilização
 - Gaseificação e combustão do carvão
- Em partículas maiores estas etapas podem ocorrer simultaneamente
- Tipicamente, partículas com número de Biot < 0.1 são consideradas pequenas para efeito do modelo



Modelo simplificado para simulação da combustão de partícula em suspensão

Balanço de energia na partícula



energy of the particle

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} + \frac{dm_p}{dt} c_p (T_p - T_{ref})$$

radiation heat transfer

$$A \sigma \left[\sum f_{p,i} \epsilon_p (T_i^4 - T_p^4) + (\epsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_p^4) \right]$$

convection heat transfer

$$+ A \bar{h} (T_g - T_p) - \dot{m}_{H_2O} h_{fg}$$

latent heat

energy leaving the boundaries by mass flux

$$+ \sum_i \dot{m}_i h + \sum_j \dot{m}_j \Delta h_j^q$$

chemical energy released by the reactions

Modelo simplificado para simulação da combustão de partícula em suspensão

Secagem:
$$\dot{m}_{H_2O} \frac{h_{fg}}{A_p} = \sigma \left[\epsilon_p (T_w^4 - T_p^4) + (\epsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_p^4) \right] + \bar{h} (T_g - T_p)$$

Pirólise, cinética:
$$\frac{dm_b}{dt} = -(k_1 + k_2 + k_3) m_b$$

$$k_j = k_{0j} \exp\left(-\frac{E_{a_j}}{RT}\right)$$

- voláteis: gases não condensáveis (CO, H₂, CO₂)
- alcatrão: condensáveis (C_mH_nO_p)
- char: carbono fixo

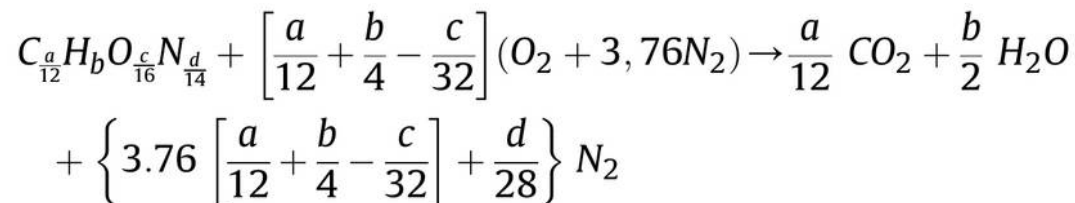
5 pyrolysis reactions considered

Index	Reaction
1	biomass → volatiles
2	biomass → tar
3	biomass → char
4	tar → volatiles
5	tar → char

Modelo simplificado para simulação da combustão de partícula em suspensão

Combustão dos voláteis

A combustão dos voláteis é modelada como uma chama plana e reação global rápida e estequiométrica



Combustão e gaseificação do carvão

A combustão do carvão é modelada como combustão direta com O_2 e gaseificação paralela com CO_2 and H_2O como reagentes

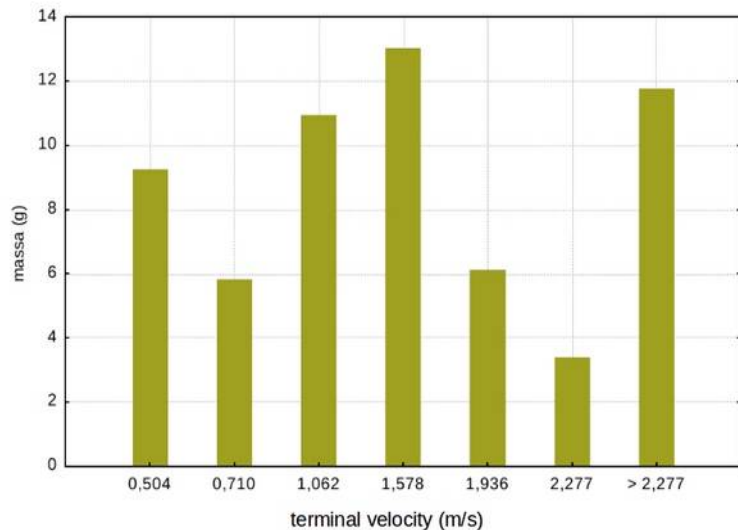
$$\dot{m}_{C,j} = A_s k_{oi} \exp\left(-\frac{E_{ai}}{RT_s}\right) \frac{M_C}{n_i} \frac{p}{R T_s} X_{i,s}$$

Equações da cinética

$$\dot{m}_i = A_s U_m (X_{i,s} - X_{i,\infty}) \rho \frac{M_i}{M_{mix}}$$

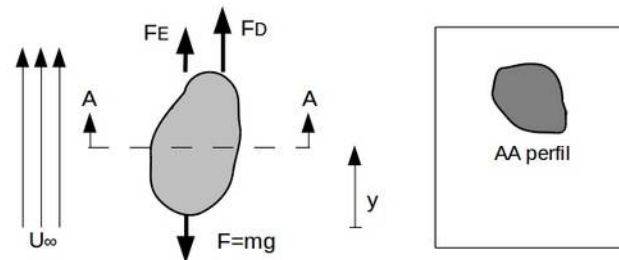
Equações de transporte de massa

Trajectoria unidimensional da partícula



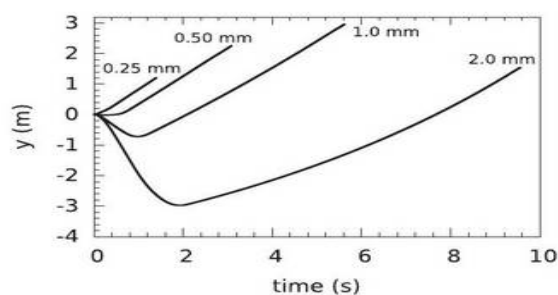
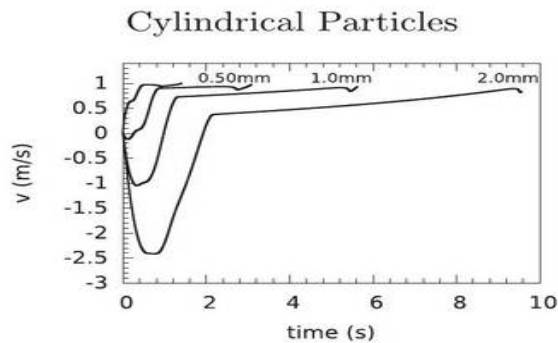
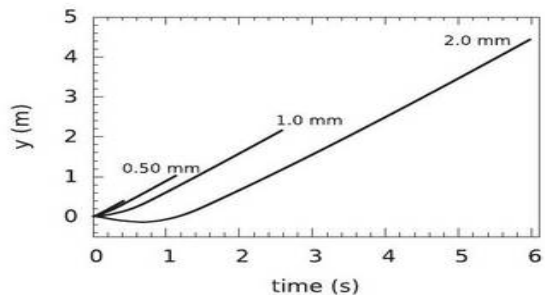
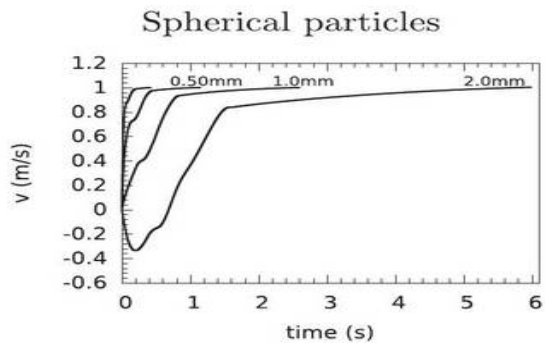
Dimensional characterization of bagasse. Moisture content: 7.5% wet basis [32].

Mass fraction	$A_p(mm^2)$	$L_p(mm)$	$d_p(mm)$	$\rho_p(kg\ m^{-3})$
14.8%	0.19	0.54	0.28	503.04
9.90%	2.27	2.57	0.90	259.57
17.7%	7.65	6.18	1.75	185.02
21.3%	8.77	6.96	1.78	217.81
10.9%	21.46	11.66	2.98	225.82
6.10%	33.81	14.46	4.05	239.55
19.3%	59.48	17.21	4.09	429.15



A trajetória vertical da partícula é determinada a partir do balanço de forças na partícula considerando a distribuição de tamanho e forma de partícula

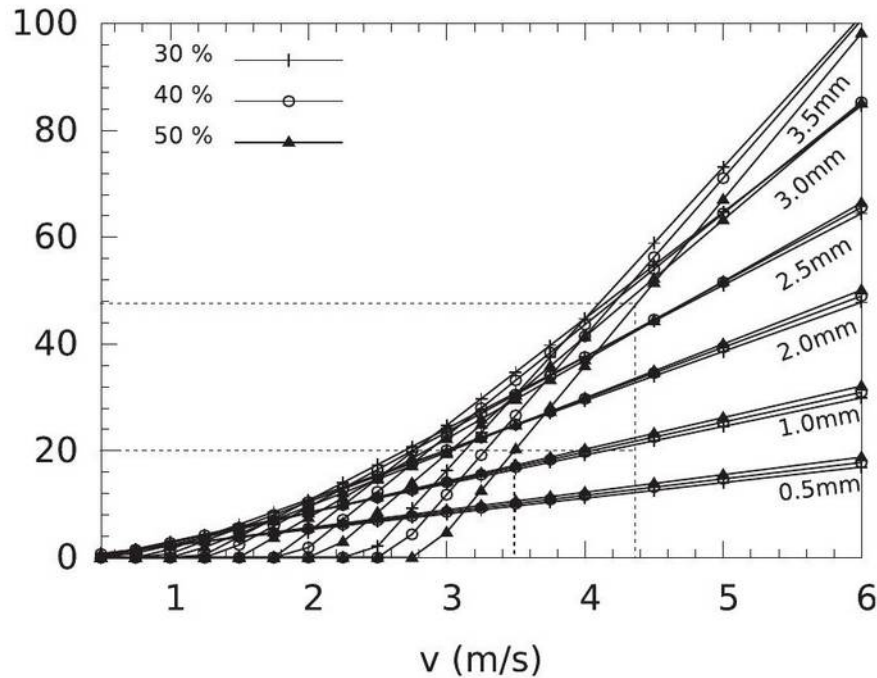
Resultados da simulação



Resultados permitem estimar a velocidade vertical das partículas e sua posição vertical em função do tempo, até o consumo total da massa da partícula, considerando a velocidade vertical dos gases de combustão na fornalha



Resultados



Fornalha de caldeira em construção

Assim, a simulação permite estimar a altura total da câmara de combustão e a posição ótima do espalhador de combustível, a fim de se obter combustão completa das partículas, em função da velocidade vertical dos gases na fornalha