



## INVESTIGAÇÃO SOBRE INCANDESCÊNCIA EM MADEIRA

### **Elaine Reis de Carvalho**

Laboratório Associado de Combustão e Propulsão, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Rod. Presidente Dutra, km 40, Cachoeira Paulista, SP, CEP 12630-000

### **João Andrade de Carvalho Jr.**

Departamento de Energia, UNESP – Campus de Guaratinguetá  
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá, SP, CEP 12500-000

### **Carlos Alberto Gurgel Veras**

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília  
Asa Norte, Brasília, DF, CEP 70910-900

**Resumo.** *Este trabalho trata da combustão sem chama, chamada incandescência, em troncos de madeira. Os objetivos principais são: verificar os parâmetros que favorecem o início e a continuidade do processo de incandescência e quantificar as concentrações de CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> durante a queima. Os ensaios foram feitos em tubo de aquecimento conectado a um controlador de temperatura, com vazões de ar de combustão previamente estabelecidas. Através de experimentos feitos com temperaturas (250 °C e 300 °C) e vazões volumétricas de ar diferentes (42,5 l/min. e 57 l/min.), com o mesmo tipo de madeira, nas mesmas condições de secagem e dimensões, diferenças na taxa de queima foram investigadas. As concentrações de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CO mantiveram-se nas faixas de 12 a 21%, 0 a 7% e 0 a 5%, respectivamente. Quanto mais alta a temperatura do forno de aquecimento, maiores eram as taxas de emissão de CO e CO<sub>2</sub>. A queima ocorreu mais rapidamente nas condições de forno pré-aquecido à temperatura de 300 °C e vazão volumétrica de ar de 42,5 l/min.*

**Palavras-chave:** *Combustão em Madeira, Incandescência, Queimadas.*

## 1. INTRODUÇÃO

Incandescência é um modo de combustão caracterizado pela degradação térmica e carbonização de material virgem, sem chama, com desenvolvimento de fumaça e visível brilho. Estatísticas mostram que 75 % de incêndios em habitações podem queimar sem chama em seus estágios iniciais, seguido somente mais tarde por chama (National Fire Protection Association, 1963).

Estudos de incêndio por incandescência foram motivados por sua ocorrência em amontoados de lixo industrial, tais como carvão vegetal, cacau, madeira, serragem, magnésio e pirritas. Egerton et al. (1963), Gugan (1966) e Muramatsu et al. (1979) estudaram a incandescência em cigarros sob as condições de campos de convecção forçada alternando com o natural, como ocorreria no ato de fumar. Kinbara et al. (1967) investigaram o processo

em papéis enrolados, bastões de incenso e tiras de papelão, apresentando uma teoria aproximada para a incandescência, assumindo: (1) o processo ocorre quando a temperatura do material atinge uma temperatura de ignição e (2) a taxa de geração de calor na zona de incandescência é governada pela disponibilidade de oxigênio.

Posteriormente, um mecanismo foi proposto por Moussa et al. (1976) para a incandescência de materiais celulósicos, onde a inibição química do processo em celulose foi objeto de várias investigações experimentais. O modelo explica os efeitos da fração molar de oxigênio e pressão parcial sobre a velocidade da frente de incandescência, a temperatura e o limite de extinção. Dependendo das concentrações de oxigênio do ambiente e da pressão parcial, o processo pode ser permanente e auto-sustentado, ou transiente e seguido por chama ou extinção. A fração molar de oxigênio ambiente e a pressão parcial governam o fluxo de calor gerado pela oxidação do carvão dentro da zona de incandescência.

Sabe-se que celulose, quando aquecida, se decompõe para produzir carvão e voláteis. O carvão então reage com o oxigênio para fornecer o fluxo de calor necessário para sustentar a pirólise. Quando esses processos estão em equilíbrio, uma onda de incandescência permanente é obtida, caso contrário a extinção ocorre. Assim, em baixos valores de fração molar de oxigênio e pressão parcial, a incandescência transiente é seguida pela extinção, enquanto que, em altos valores, é seguida por chama e expansão da chama sobre o material virgem.

O estudo apresentado neste trabalho tem sua origem na pesquisa de campo sobre processos de queimada em florestas tropicais, conduzida pelo Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LCP) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Carvalho et al., 1995; Araújo et al. 1997; Serra, 1997; Carvalho et al., 1995, 1998). Em queimadas, o período de incandescência é posterior ao período de chamas, contrário do que ocorre com incêndios em habitações.

Durante o estágio de chamas, os materiais de tamanho menor sustentam o consumo de troncos e galhos maiores. O estágio de incandescência segue o período de chamas, quando a biomassa de tamanho maior permanece fumegando por até vários dias. Fatores de emissão são diferentes nos dois períodos e a biomassa consumida em cada um deles influencia diretamente a quantidade de emissões produzidas.

Esses dois períodos distintos de combustão são importantes para entender os efeitos ecológicos do fogo. As chamas contribuem diretamente para a propagação do fogo na liteira da mata circunvizinha, o que causa dano irreversível para as espécies em pé. Por outro lado, o estágio de incandescência expõe o solo ao calor durante longos períodos, o que afeta sua capacidade para conservar umidade e nutrientes necessários para o desenvolvimento de sementes.

Neste trabalho descreve-se a investigação do processo de incandescência desenvolvido em troncos de madeira. O estudo foi conduzido para melhor compreender o mecanismo, na tentativa de obter uma base racional para prevenção, detecção e controle do processo.

## **2. PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO**

Um forno elétrico para iniciar e manter o processo de combustão das amostras foi desenvolvido. Tal equipamento, cujo esquema é mostrado na Figura 1, foi montado com quatro resistências tipo coleira que operavam em tensão de 220 V, fornecendo uma potência de 4000 W. As dimensões eram 0,20 m de diâmetro interno e 0,40 m de comprimento. Finalizado o isolamento do tubo, fixou-se em sua saída uma tampa com filtro acoplado de onde saem seis termopares tipo K (cromel-alumel) e uma sonda para coleta dos gases de combustão para os analisadores de CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>.

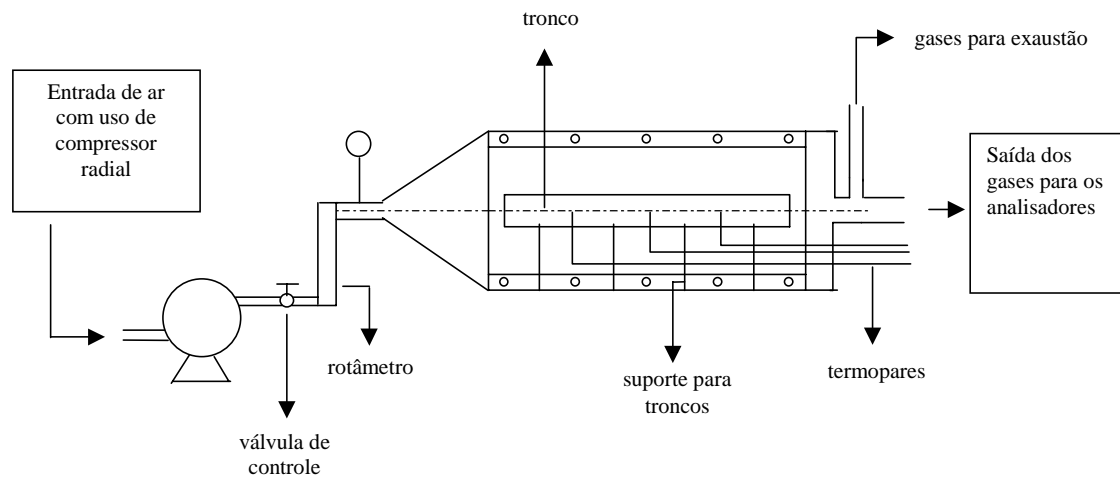


Figura 1 – Esquema do forno desenvolvido.

Um dos termopares foi conectado a um controlador de temperatura que permite fixar a temperatura final do forno em um patamar e os demais foram conectados ao corpo de prova. Na entrada do tubo foi instalada uma tampa, no formato de um cone, acoplada a uma mangueira ligada ao rotâmetro para entrada de ar controlada. O ar de combustão foi fornecido por um compressor radial, marca IBRAM, modelo CR-8.

Os analisadores de CO e CO<sub>2</sub> eram do tipo infravermelho, marca Rosemount, modelo 880A (ambos), enquanto o analisador de O<sub>2</sub> era do tipo termomagnético, marca Junkalor Dessau, modelo Permolyt 2. Todos os analisadores são contínuos e suas saídas foram ajustadas para fornecer sinal de 0 a 5 volts DC.

O objetivo central do condicionamento da amostra é reduzir a temperatura e retirar o vapor d'água do gás. Os analisadores de CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> foram usados com fundos de escala de 5 %, 20 % e 20 %, respectivamente.

O sistema de dados é constituído por um computador principal (HP 9000, série 300, com um multiprogramador com placa de aquisição) e outro secundário (HP 3421A). Após o processamento dos dados, obtiveram-se gráficos das variações de concentrações com o tempo e com a temperatura e variações da temperatura com o tempo.

Antes dos testes com uso dos analisadores, foram realizados testes piloto para se obter dados e informações necessárias aos experimentos. Inicialmente, na entrada do tubo não haveria tampa, ou seja, não seria controlada a entrada de ar. Contudo, utilizando forno aberto, a temperatura não ultrapassava 120 °C, o que impedia a queima no substrato de madeira. No entanto, ao fechar-se o tubo para diminuir a perda de calor, impedia-se também a passagem de ar. Sem o oxigênio não ocorria a combustão e o substrato somente carbonizava, isto é, não havia o processo de incandescência.

Diante disto, fez-se necessário introduzir uma vazão de ar controlada dentro do tubo fechado e um furo na tampa posterior para a eliminação dos gases gerados. Assim, a perda de calor seria menor, mantendo a temperatura interna do forno sem prejudicar a queima por incandescência. A vazão de ar necessária era de cerca de 42,5 l/min, sendo medida por um rotâmetro. Esta vazão foi estimada com base na observação dos testes preliminares que um corpo de prova de cerca de 1,2 kg demorava aproximadamente 2 horas em combustão.

O procedimento adotado foi sempre o mesmo para todos os ensaios realizados. Este procedimento está descrito a seguir:

- Fazia-se a ligação dos analisadores e do sistema de coleta de dados. Após um mínimo de duas horas, tempo requerido para aquecimento dos analisadores, procedia-se à calibração dos mesmos.

- Pesava-se o corpo de prova e introduziam-se os termopares ao longo da madeira para se determinar as temperaturas. Três termopares eram colocados no centro do corpo de prova, cada um a 90 graus do outro, e dois termopares a cerca de 5 cm de cada extremidade.
- Fechava-se o forno após ser introduzido o corpo de prova em seu interior e ligava-se o compressor de ar, o qual fornecia uma vazão de ar constante de 42,5 l/min (1,5 ft<sup>3</sup>/min), verificada por um rotâmetro. Em testes alternados, a vazão de ar era aumentada para 57 l/min (2 ft<sup>3</sup>/min).
- Ligava-se o forno com temperatura programada para 250 °C, fixada por um controlador de temperatura; nos testes finais, a temperatura foi fixada em 300 °C.
- A partir daí, a cada 30 segundos, o coletor de dados registrava todos os dados vindos dos analisadores e dos termopares. Durante duas horas, eram registradas as concentrações de CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, assim como as temperaturas ao longo do corpo de prova em processo de pirólise e incandescência.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro conjunto de resultados é apresentado nas Figuras 2 e 3, que mostram as variações das temperaturas T<sub>1</sub> a T<sub>5</sub> e das concentrações de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CO em função do tempo, para temperatura de aquecimento do forno de 250 °C e vazão de ar de 42,5 l/min.

Pode-se verificar que as concentrações de CO e CO<sub>2</sub> aumentam gradativamente até perto de 75 minutos de teste, diminuindo em seguida. A concentração de O<sub>2</sub>, conforme esperado, têm comportamento inverso às de CO e CO<sub>2</sub>. As curvas de CO e CO<sub>2</sub> parecem ser uma reflexão da outra, o que se repetiu em todos os testes realizados. Os máximos das concentrações de CO e CO<sub>2</sub> foram 3,1 % e 4,9 %, respectivamente. O mínimo correspondente da concentração de O<sub>2</sub> foi 19,3 %.

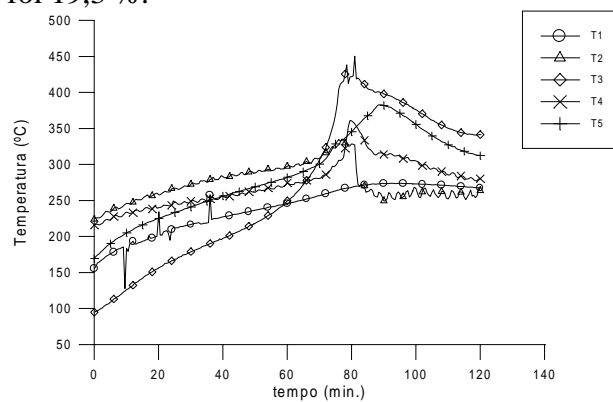


Figura 2 - Variação das temperaturas T<sub>1</sub> a T<sub>5</sub> em função do tempo de teste, para forno aquecido a 250 °C e vazão volumétrica de ar de 42,5 l/min.

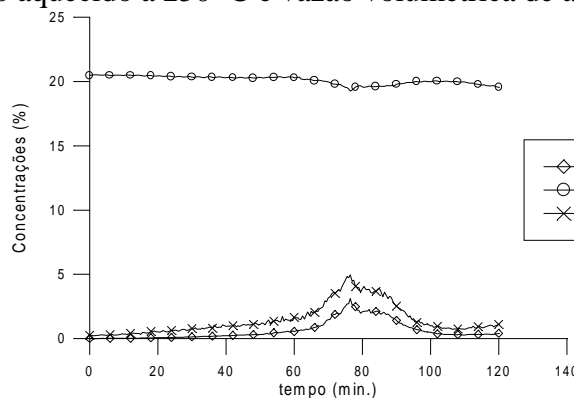
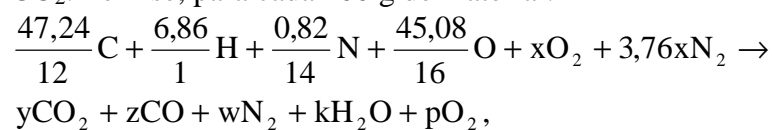


Figura 3 – Variação das concentrações de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CO em função do tempo de teste, para forno aquecido a 250 °C e vazão volumétrica de ar de 42,5 l/min.

As temperaturas atingiram máximos valores também em redor de 75 minutos de teste (exceto T<sub>4</sub>, que demorou cerca de 15 minutos mais para chegar ao máximo). O maior valor das temperaturas (cerca de 420 °C), ocorreu em T<sub>3</sub>, o termopar localizado a jusante do escoamento de ar em torno do corpo de prova. A temperatura máxima logo abaixo daquela em T<sub>3</sub> ocorreu em T<sub>5</sub> (aproximadamente 380 °C), um dos termopares localizados no centro do corpo de prova. Esta situação não se repetiu em testes posteriores e nada pôde ser concluído sobre qual termopar atinge o máximo de temperatura no corpo de prova.

Os picos de concentrações de CO e CO<sub>2</sub> e de temperatura ocorreram praticamente no mesmo tempo de teste, situação verificada em todos os experimentos. Neste ponto, ocorre a máxima taxa de consumo da biomassa.

Tomando a composição da madeira determinada em laboratório (C: 47,24 %, H: 6,86 %, N: 0,82 %, O: 45,08 %, em base mássica seca), pode-se escrever a reação de combustão na situação de máxima taxa de consumo, assumindo que todo carbono transforme-se em CO e CO<sub>2</sub>. Tem-se, para cada 100 g de material:



onde x, y, z, w, k e p são coeficientes a serem determinados através de balanço de átomos e das concentrações medidas de CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Este procedimento é uma aproximação porque o material não mantém sua composição original durante a queima. A pirólise e queima da biomassa produz outros componentes não considerados no procedimento, por exemplo voláteis e alcatrão, em quantidades não determináveis pelo equipamento disponível. O erro da aproximação será discutido logo após, comparando com a hipótese de se considerar o material como carbono puro. O balanço da equação química fornece:

$$C: 3,9367 = y + z,$$

$$H: 6,86 = 2k \Rightarrow k = 3,43,$$

$$N: 0,0586 + 2x = 2w \Rightarrow w = 0,0293 + 3,76x,$$

$$O: 2,8175 + 2x = 2y + z + k + 2p.$$

As concentrações medidas em base seca de CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> fornecem

$$y = \frac{0,049}{0,031}z = 1,581z, \quad p = \frac{0,193}{0,031}z = 6,226z.$$

Assim, quando as concentrações de CO e CO<sub>2</sub> são máximas, tem-se x = 12,978, y = 2,411, z = 1,526, w = 48,825, k = 3,43 e p = 9,497. Neste instante, sabendo que a vazão volumétrica de ar é 42,5 l/min em pressão próxima à atmosférica (54,72 g/min), calcula-se a taxa de consumo máximo da madeira como

$$\dot{m}_q = 54,72 \frac{100}{12,978(32 + 3,76 * 28)} = 3,07 \frac{g}{min}.$$

O excesso de ar global do processo dentro do forno foi estimado partindo da reação estequiométrica da biomassa com ar:



onde o subscrito e dos coeficientes indica condições estequiométricas. Pelo balanço de átomos obtém-se x<sub>e</sub> = 4,243, y<sub>e</sub> = 3,937, w<sub>e</sub> = 15,983, k<sub>e</sub> = 3,43. Assim, o excesso de ar global fica, para este caso, (x - x<sub>e</sub>)/x<sub>e</sub> = 206 %.

Se o material em combustão for assumido como carbono puro, tem-se a reação química:



para a qual, novamente, das medidas de concentração,  $y = 1,581z$  e  $p = 6,226z$ . Pelo balanço de átomos chega-se a  $z = 0,3874$ ,  $y = 0,6126$  e  $p = 2,412$ . A nova taxa de queima fica  $\dot{m}_q = 1,49$  g/min e o novo excesso de ar 221 %.

Observa-se, assim, que há uma diferença considerável nos resultados obtidos para a taxas de queima calculadas assumindo madeira virgem (3,07 g/min) e carbono puro (1,49 g/min) no instante da queima, devido principalmente ao oxigênio contido na madeira. Os excessos de ar calculados têm uma diferença muito menor (206 % no primeiro caso e 221 % no segundo).

Como a reação está ocorrendo a 420 °C, é mais razoável adotar a segunda hipótese: o material sendo consumido no instante considerado é praticamente carbono, tendo os voláteis já sido eliminados.

Apresentam-se a seguir, nas Figuras 4 e 5, as variações das temperaturas  $T_1$  a  $T_5$  e das concentrações de  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $CO$  em função do tempo, ainda para temperatura de aquecimento do forno de 250 °C, mas com vazão de ar de 57 l/min.

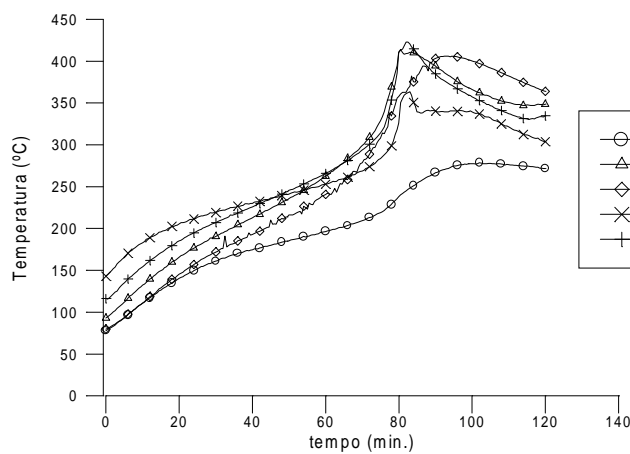


Figura 4 - Variação das temperaturas  $T_1$  a  $T_5$  em função do tempo de teste, para forno aquecido a 250 °C e vazão volumétrica de ar de 57 l/min.

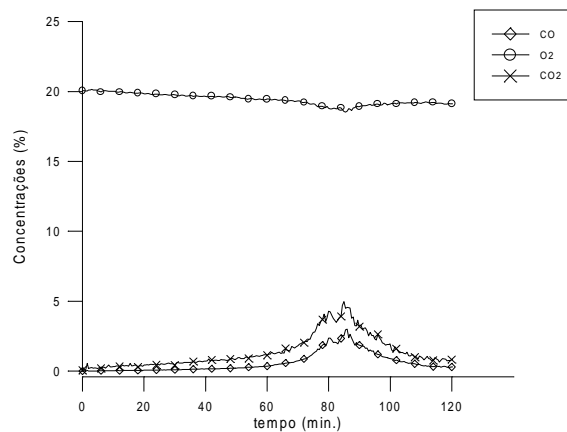


Figura 5 - Variação das concentrações de  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $CO$  em função do tempo de teste, para forno aquecido a 250 °C e vazão volumétrica de ar de 57 l/min.

As características gerais das curvas obtidas são as mesmas do grupo anterior. Aqui, as temperaturas máximas encontram-se nas vizinhanças de 410 °C, praticamente repetindo o que ocorreu no grupo de testes anterior. No entorno dessa temperatura, que demorou cerca de 85 min para ser atingida, o máximo de concentração de  $CO_2$  foi 5,0 %, correspondendo a concentrações de  $CO$  e  $O_2$  de 2,5 % e 18,6 %, respectivamente.

Através do mesmo procedimento adotado anteriormente, considerando o material como carbono, chega-se, para este segundo caso, a uma taxa máxima de consumo de biomassa de 1,94 g/min (contra 1,49 g/min no caso anterior) e a um excesso de ar global de 231 % (contra 221 %), ambos no momento maior temperatura.

Observa-se que um aumento da vazão de ar em 34 % causou um aumento de 30 % na taxa máxima de queima, embora as temperaturas máximas atingidas tenham variado muito pouco (cerca de 10 °C). Neste caso, houve maior disponibilidade de oxidante, para uma temperatura de aquecimento do forno constante e igual a 250 °C. Adicionalmente, aqui há um efeito de diluição provocado pela maior vazão de ar, contrabalançado por uma maior taxa de queima.

A seguir considera-se a situação de forno aquecido a 300 °C, primeiramente com a vazão de ar de 42,5 l/min. As Figuras 6 e 7 apresentam as temperaturas e as concentrações em função do tempo obtidas neste caso.

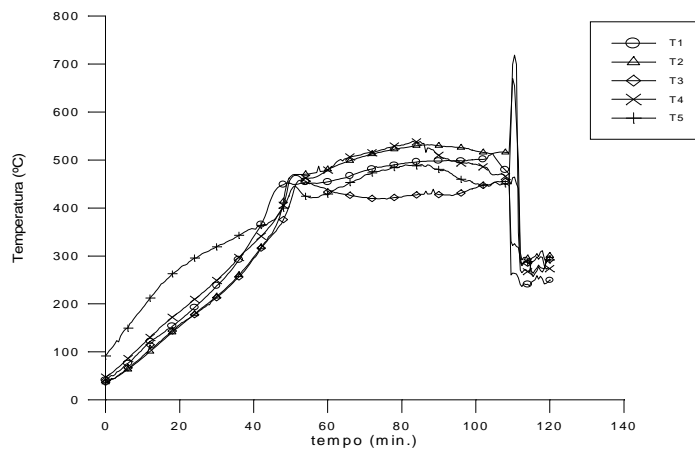


Figura 6 – Variação das temperaturas  $T_1$  a  $T_5$  em função do tempo de teste, para forno aquecido a 300 °C e vazão volumétrica de ar de 42,5 l/min.

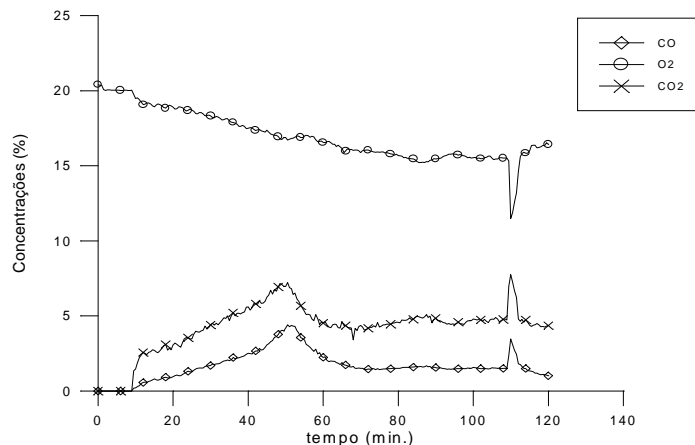


Figura 7 – Variação das concentrações de  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $CO$  em função do tempo de teste, para forno aquecido a 300 °C e vazão volumétrica de ar de 42 l/min.

Os picos de temperaturas e concentrações observados em torno de 110 min de teste ocorreram possivelmente devido a um rompimento da madeira, que queimou momentaneamente com chama. Em seguida, os termopares se desprenderam da madeira, passando a medir temperaturas próximas à do forno (300 °C).

Neste teste, as temperaturas máximas, durante o tempo em que os termopares permaneceram dentro da madeira, atingiram a faixa dos 550 °C e a concentração de  $CO_2$

chegou a seu máximo de 7,5 % em apenas 50 min (contra aproximadamente 80 min para os casos anteriores). Neste instante, as concentrações de CO e O<sub>2</sub> eram de 4,5 % e 17,5 %, respectivamente. Assumindo que o material seja carbono puro, obtém-se  $\dot{m}_q = 2,11$  g/min e um excesso de ar de 127 %. Percebe-se claramente o forte efeito da temperatura de aquecimento do forno: para a mesma vazão de ar de 42 l/min, um aumento de apenas 50 °C provocou um aumento em  $\dot{m}_q$  de 1,49 g/min para 2,11 g/min e uma redução no excesso de ar global de 221 % para 127 %, no instante de máxima taxa de queima.

Finalmente, analisa-se o caso correspondente à temperatura de forno de 300 °C e à vazão de ar de 57 l/min. As temperaturas e concentrações obtidas em função do tempo para este caso são apresentadas nas Figuras 8 e 9. A máxima concentração de CO<sub>2</sub> foi de 6 %, atingida em cerca de 50 min de teste, como no caso anterior. As concentrações de CO e O<sub>2</sub> correspondentes foram de 3 % e 18 %, respectivamente.

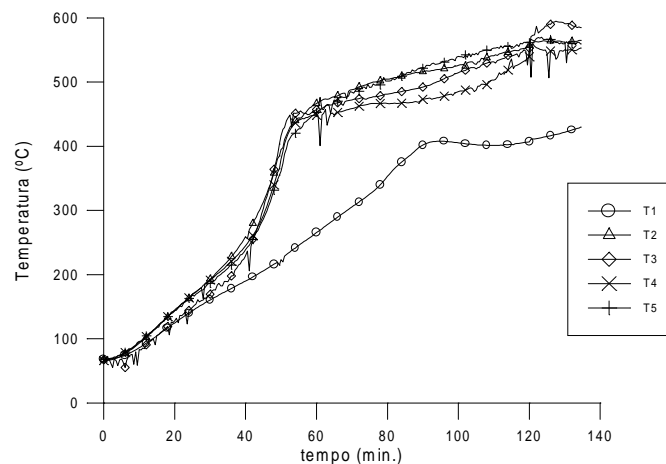


Figura 8 – Variação das temperaturas T<sub>1</sub> a T<sub>5</sub> em função do tempo de teste, para forno aquecido a 300 °C e vazão volumétrica de ar de 57 l/min.

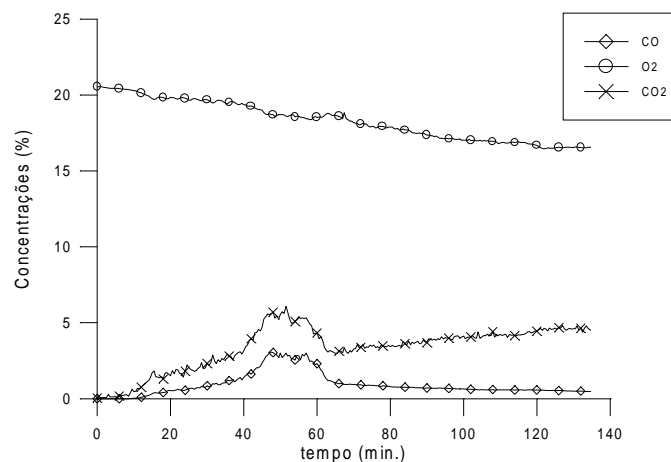


Figura 9 – Variação das concentrações de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CO em função do tempo de teste, para forno aquecido a 300 °C e vazão volumétrica de ar de 57 l/min.

Neste teste aconteceu um fato singular, conforme pode ser observado nas Figuras 8 e 9. Depois do máximo de CO<sub>2</sub>, as concentrações de CO<sub>2</sub> e CO imediatamente baixaram até o tempo de 65 min. A partir deste instante, estas concentrações passaram a ter comportamentos diversos: a primeira aumentou e a segunda diminuiu, ambas a taxas aproximadamente constantes. A concentração de O<sub>2</sub> sempre baixou, durante todo o teste. As temperaturas no



corpo de prova, exceto  $T_1$ , aumentaram de 450 °C para 550 °C, a partir de 50 min até o final do teste.

Assumindo novamente que o material seja carbono puro, obtém-se  $\dot{m}_q = 2,26$  g/min (7 % maior que o caso anterior) e um excesso de ar global de 183 %. Aqui, percebe-se um efeito quase que exclusivo da diluição por uma maior vazão de ar com relação ao caso anterior de mesma temperatura de forno.

Ao final deste teste, as concentrações de  $CO_2$ , CO e  $O_2$  atingiram 5 %, 1 % e 16,5 %, respectivamente. A taxa de queima recuou para 1,73 g/min e o excesso de ar aumentou para 267 %. Devido a uma maior temperatura, a concentração de CO diminuiu. A taxa de queima certamente diminuiu por disponibilidade de menor área para ocorrência da reação de combustão.

#### 4. CONCLUSÃO

Em todos experimentos realizados foram obtidos resultados com tendências semelhantes, variando os valores máximos de temperatura e concentrações. Inicialmente, a concentração de  $O_2$  mantinha-se entre 20 % e 21 %, até a temperatura atingir valores próximos a 110 °C. A partir desta temperatura começavam a aumentar gradativamente as concentrações de CO e  $CO_2$ , até atingir valores máximos que coincidiam com os máximos de temperatura.

A taxa de queima máxima e o excesso de ar correspondente foram estimados assumindo que o material em combustão era exclusivamente carbono. Esses resultados, juntamente com o tempo para obter a taxa de queima máxima e a temperatura neste instante, são resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos resultados dos testes conduzidos.

Vazão de ar (l/min)	Temperatura do forno (°C)	Taxa de queima máxima (g/min)	Excesso global de ar no forno (%)	Tempo para atingir taxa de queima máxima (min)	Temperatura na taxa de queima máxima (°C)
42,5	250	1,49	221	75	420
57	250	1,94	231	85	410
42,5	300	2,11	127	50	550
57	300	2,26	183	50	450*

\*a partir de 50 min a temperatura aumentou até 550 °C ao final do teste (140 min).

À temperatura de forno de 300 °C tem-se condições mais apropriadas para o estabelecimento do processo de incandescência da madeira. Para esta temperatura também foram observadas as maiores taxas de queima.

A massa específica e a porosidade da madeira podem ter influenciado no processo de incandescência. Mesmo tendo obtido amostras da mesma espécie, variações de massa específica e porosidade podem ocorrer.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem o apoio deste trabalho pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, através do processo nº 1998/00104-9.

#### REFERÊNCIAS

- Araújo, T.M., Carvalho Jr., J.A., Higuchi, N., Brasil Jr., A.C.P., Mesquita, A.L.A.,1997 Estimativa de taxas de liberação de carbono em experimento de queimada no Estado do Pará. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 69, n. 4, p. 575-584.
- Carvalho Jr., J.A., Costa, F.S., Veras, C.A.G., Gielow, R., Alvarado, E., Serra Jr., A.M., Santos, J.C.,1998. Características da combustão de biomassa em queimadas de florestas tropicais: experimento de Alta Floresta. Relatório Projeto FAPESP 96/11742-0.
- Carvalho Jr, J.A., Santos, J.M., Santos, J.C., Leitão, M.M., Higuchi, N.,1995. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. Atmospheric Environment, v. 29, n. 17, p. 2301-2309.
- Egerton, A, Gugan, K., Weinberg, F.J.,1963. The mechanism of smouldering in cigarettes. Combustion and Flame, v. 7, n. 1, p. 63-78.
- Gugan, K. Natural smoulder in cigarettes, 1966. Combustion and Flame, v. 10, n.3, p. 161-164.
- Kinbara, T., Endo, H., Segal, S., 1967. Downward propagation of smoldering combustion through solid materials. In: International Symposium on Combustion, 11., Berkeley, CA, 1966. Proceedings. Pittsburgh: The Combustion Institute, p. 525-531.
- Moussa, N.A., Toong, T.Y., Garris, C.A.,1976. Mechanism of smoldering cellulosic materials. In: International Symposium on Combustion, 16., Cambridge, MA. Proceedings. Pittsburgh: The Combustion Institute, p. 1447-1448.
- Muramatsu, M., Umemura, S., Okada, T.,1979. A mathematical model of evaporation – pyrolysis processes inside a naturally smoldering cigarette. Combustion and Flame, v.36, n. 3, p. 245-262.
- National Fire Protection Association (NFPA), 1963. Fire detection systems in dwellings. Los Angeles: Fire Department Tests.
- Serra Jr., A.M., 1997. Combustão de biomassa em microqueimadas e em escala real, Dissertação de Mestrado, UNESP/Campus de Guaratinguetá.

### **Investigation on Smoldering in Wood**

**Abstract.** *This work investigates combustion without flame, called smoldering combustion, in biomass small logs. The main goals were: to check the parameters that control the start and the stability of the smoldering process and to measure the CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations during the burning. The tests were performed in a heating tube connected to a temperature controller and with the insertion of controlled air mass flow. Through experiments made with different temperatures (250 °C and 300 °C) and different air outflows (42.5 l/min. and 57 l/min.), with the same type of wood, which were in similar conditions of drying and dimensions, differences in burning rates were investigated. The O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and CO concentrations varied between 12 and 21 %, 0 and 7 % and 0 and 5 %, respectively. The higher the temperature of the furnace, the higher the emission rates of CO and CO<sub>2</sub>. The burning occurred faster with preheated furnace at temperature of 300 °C and air flow rate of 42.5 l/min.*

**Keywords:** *Combustion of Wood, Smoldering.*