

CONCENTRAÇÕES DAS ESPÉCIES QUÍMICAS LIBERADAS DURANTE A COMBUSTÃO DE BIOMASSA

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Vinicius Pereira da Silva (FARO- ROSEIRA, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: vinicius.pereira@faroroseira.edu.br

Dr. Turibio Gomes Soares Neto (LCP/CTE/INPE, Orientador)
E-mail: turibio@lcp.inpe.br

Julho 2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro com a bolsa de Iniciação Científica.

Ao Laboratório Associado de Combustão e Propulsão - LABCP pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao orientador Dr. Turibio Gomes Soares Neto pelo conhecimento passado, e pela orientação e dedicação na realização deste trabalho.

Ao Dr. Ely Vieira Cortes, e Carlos Alberto do Santos pela ajuda nos experimentos de queima com analisadores específicos.

RESUMO

Esse trabalho teve início em Outubro de 2016. O objetivo foi determinar a quantidade de emissão das principais espécies químicas liberadas durante a queima de biomassa, em experimentos realizados em laboratório. Procurou-se simular a queimada de *Pinus elliotti*, utilizando um equipamento de queima montado dentro de um contêiner. O equipamento contém uma bandeja para a queima da biomassa sobre uma balança e uma coifa acoplada a uma chaminé, para a condução dos gases para o exterior do contêiner. Na chaminé foi instalado um exaustor para os gases de combustão e sensores para detectar a vazão, temperatura e pressão. Uma bomba de diafragma succiona amostras dos gases através de sondas instaladas nesta chaminé, onde existem filtros para reter partículas e banho térmico para diminuir os efeitos da umidade e alcatrão nos analisadores específicos. As amostras vão para os analisadores de gases onde foram determinadas as suas concentrações, ou armazenadas em garrafas para análise de sua concentração no cromatógrafo gasoso. Com as amostras coletadas no experimento, podem-se determinar as concentrações dos gases da combustão por cromatografia gasosa. A partir desses valores podem-se determinar os fatores de emissão dos principais gases. Os fatores de emissão médios de *Pinus elliotti* através dos analisadores específicos foram em termos de g/Kg de biomassa seca: CO₂ - 1435 (g/kg) / CO – 42,8 (g/kg) / NO - 1,06 (g/kg) / UHC – 9,51 (g/kg). O intuito foi verificar qual variável (diâmetro do tronco, inclinação da bandeja e velocidade do vento) mais interferiu na emissão de gases. Realizou-se um estudo estatístico no qual se observou qual fator ou fatores que mais interferiu na emissão de gases poluentes, principalmente do CO₂, que colabora para o aumento do efeito estufa.

ABSTRACT

This work began in October 2016. The objective was to determine the amount of emission of the main chemical species released during biomass burning in laboratory experiments. It was tried to simulate the burning of *Pinus elliotti*, using a burning equipment mounted inside a container. The equipment contains a tray for burning the biomass on a scale and a hood coupled to a chimney to conduct the gases to the outside of the container. In the chimney was installed an exhaust for the combustion gases and sensors to detect the flow, temperature and pressure. A diaphragm pump sucks up gas samples through probes installed in this chimney where there are particulate retention and thermal bath filters to lessen the effects of moisture and tar on specific analyzers. The samples go to the gas analyzers where their concentrations were determined, or stored in bottles for analysis of their concentration in the gaseous chromatograph. With the samples collected in the experiment, the concentrations of the combustion gases can be determined by gas chromatography. From these values the emission factors of the main gases can be determined. The average emission factors of *Pinus elliotti* through the specific analyzers were in terms of g/Kg dry biomass: CO₂ - 1435 (g / kg) / CO – 42.8 (g / kg) / NO – 1.06 (g / kg) / UHC – 9.51 (g / kg). The aim was to verify which variable (trunk diameter, tray inclination and wind speed) further interfered with the emission of gases. A statistical study was carried out in which factors or factors that most interfered in the emission of pollutant gases, mainly of the CO₂, that contributed to the increase of the greenhouse effect were observed.

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| Figura 1 - visão geral do equipamento experimental de queima. | 5 |
| Figura 2 - Balança e prato para testes de biomassa, e boca da chaminé. | 5 |
| Figura 3 - Esquema da disposição dos componentes do sistema de amostragem de gases na mesa de comando. | 6 |
| Figura 4 - Estrutura de troncos com diâmetro menor ou igual a 2,5 cm. | 7 |
| Figura 5 - Estrutura de troncos com diâmetro maior que 2,5 cm. | 7 |
| Figura 6 - Processo de queima da biomassa. | 8 |
| Figura 7 – Forno de secagem da biomassa. | 9 |
| Figura 8 - Dados obtidos através dos analisadores específicos durante o experimento 3 | 3 11 |
| Figura 9 - Dados obtidos através dos analisadores específicos durante o experimento 6 | 6 12 |
| Figura 10 - Efeitos Principais de CO ₂ | 14 |
| Figura 11 - Efeitos Principais de CO. | 14 |
| Figura 12 - Efeitos Principais do NO. | 15 |
| Figura 13 - Efeitos Principais de UHC. | 15 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pag.</u> |
|--|-------------|
| Tabela 1 - Fatores de emissão das espécies químicas liberadas pela queima de biomassa <i>pinus elliotti</i> | 10 |
| Tabela 2 - Fatores de emissão das espécies químicas liberadas pela queima de biomassa <i>pinus elliotti</i> | 10 |
| Tabela 3 - Dados obtidos através dos analisadores específicos..... | 11 |
| Tabela 4 - Fatorial 2 ³ . Representa as condições do experimento. | 13 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|-------|---|
| LABCP | Laboratório Associado de Combustão e Propulsão. |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. |
| UHC | Hidrocarbonetos Não Queimados. |
| CNTP | Condições Normais de Temperatura e Pressão. |
| CHN | Carbono Hidrogênio e Nitrogênio. |
| FE | Fator de Emissão. |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------------------------|--------------------------|
| ppmv | Parte por milhão volume. |
| pg | 10^{15} gramas. |
| m ² | Metro quadrado. |
| cm ² | Centímetro quadrado. |
| V _{total - chaminé} | Vazão total na chaminé. |
| V _x | Volume do gás X. |
| M _x | Massa molar do gás X. |
| g | Gramas. |
| kg | Kilogramas. |
| atm | Atmosfera. |
| mg | Miligrama. |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 1.INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Estudos e Objetivos | 3 |
| 2. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS | 3 |
| 2.1 Revisão Bibliográfica | 3 |
| 3. TECNICAS EXPERIMENTAIS | 4 |
| 3.1 Ensaio de combustão em laboratório | 4 |
| 3.2 Analisadores Específicos | 5 |
| 3.3 Sistema de coleta de gases | 6 |
| 3.4 Amostragem da Parte experimental em Laboratório | 7 |
| 3.5 Cálculo do Fator de Emissão | 8 |
| 3.8 Teor de umidade | 8 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 9 |
| 4.1 Fatores de Emissão | 10 |
| 4.2 Estudo Estatístico | 13 |
| 5. CONCLUSÃO | 16 |
| 6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA | 16 |

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho de iniciação científica foi determinar a quantidade de emissão das principais espécies químicas liberadas durante a queima de biomassa, em experimentos realizados em laboratório. Particularmente neste trabalho procurou-se simular a queimada de *Pinus elliotti*, utilizando-se um equipamento de queima montado dentro de um contêiner.

Os estudos tiveram base nas referências de Lobert et al. (1990,1991) e entre outras referências, para obter um melhor entendimento sobre o assunto que foi proposto no trabalho de iniciação científica. Os experimentos foram realizados nas dependências do Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LABCP) do INPE, em Cachoeira Paulista.

A queima de biomassa é uma das mais importantes fontes de poluição atmosférica do planeta (CRUTZEN et al., 1979, CRUTZEN e ANDREAE, 1990). Esta queima global de biomassa tem um importante papel no balanço de muitas espécies químicas na atmosfera. Estimativas sugerem que de 3 a 5 pg (10^{15} g) de carbono são queimados globalmente como biomassa anualmente (CRUTZEN e ANDREAE, 1990; SEILER e CRUTZEN, 1980), sendo uma quantidade comparável em magnitude ao carbono queimado como combustível fóssil.

A biomassa é queimada para aquecimento, cozimento e na agricultura. A queima de vegetação controlada e incêndios florestais atingem a milhões de hectares anualmente, onde o fogo consome cerca de 6 pg de biomassa (REINHARDT e WARD, 1995). Nos Estados Unidos cerca de seis milhões de hectares são queimados anualmente (WARD et al., 1993). Acredita-se que essa quantidade de biomassa queimada represente apenas cerca de 2 a 3% da biomassa queimada globalmente (HAO e LIU, 1994). No Brasil, são queimados anualmente 1,7 milhões de hectares de florestas primárias (ANDREAE e Merlet, 2001). Segundo projeto Prodes do INPE, o desmatamento da Amazônia reduziu para 583.100 hectares no ano de 2015.

O fogo é amplamente utilizado em escala global para: a) desflorestamento; b) rotação de culturas; c) limpeza de galhos, ervas daninhas, e resíduos acumulados em áreas de pastagens e áreas onde foi efetuada uma colheita; d) regeneração de nutrientes em áreas colhidas e de pastagens; e) controle de combustível acumulado em florestas; f) produção

de carvão para indústria e uso doméstico; g) produção de energia para cozimento e aquecimento (ANDREAE, 1991).

A queima de biomassa emite uma mistura complexa de gases e particulados na atmosfera. Muitos desses compostos podem ser tóxicos e/ou cancerígenos, especialmente, se o nível de exposição das pessoas for muito elevado (WARD e HAO, 1992a; WARD et al., 1993). Alguns hidrocarbonetos de baixo peso molecular (CH_4) contribuem para o aumento do conhecido efeito estufa (CRUTZEN e ANDREAE, 1990). Pode-se destacar que outros gases CO_2 , N_2O e CH_3Cl também emitidos contribuem para o agravamento do problema do efeito estufa (RAMANATHAN et al., 1985), sendo estimado que os gases provenientes das queimadas de biomassa contribuem com cerca de 20% para o aquecimento do planeta (WARD et al., 1994). Segundo trabalho mais recente de Soares Neto et al. (2009), a taxa de emissão de 531 Mt/ano de CO_2 devido ao desmatamento e queima desta floresta, representa 1.06% das emissões globais dos gases de efeito estufa, reportado por Barker et al. (2007).

A composição desses gases provenientes da queima de biomassa é dependente do tipo de combustível e das características do fogo. Estas características incluem parâmetros como composição do combustível e teor de umidade, carga de combustível e intensidade de chama, meteorologia (condições de ventos) e tipo de combustão, ou seja, na forma de uma chama e/ou na forma de um carvão incandescente queimando (GRIFFITH et al., 1991). Todos estes fatores determinam a eficiência global de queima, a qual é definida como a fração de CO_2 emitido em relação ao carbono total existente na biomassa, sendo a unidade indicando a completa conversão de todo o carbono para CO_2 . Entretanto, em queimas de biomassa em sistemas abertos, nunca é alcançada eficiência de 100%. Assim, muitos compostos derivados desta combustão ineficiente podem ser encontrados em quantidades significantes.

Metano, CO e outros hidrocarbonetos são principalmente emitidos durante a combustão incompleta da biomassa durante a fase de queima na forma de incandescência (“smoldering”), enquanto a maior parte de CO_2 é emitido durante a fase de queima na forma de chama (“flame”) (LOBERT et al., 1991; WARD and HARDY, 1991).

Cerca de mais de trinta e três produtos foram identificados e quantificados, resultantes da queima de madeira pelo processo de incandescência (MCKENZIE et al., 1994). Os autores acreditam que os produtos condensáveis são produzidos a partir da pirólise de lignina e polissacarídeos, sendo que os principais produtos emitidos em ordem

decrecente de concentração são: água, ácido acético, metanol, acetato de vinila, 1 - hidroxila - 2 - propanona, aldeído pirúvico, etc. Entre os produtos não condensáveis pode-se destacar CO₂, CO, CH₄, C₂H₄ e C₂H₆, sendo também produzido traços de etino e outros HC de maior peso molecular que não foram identificados.

1.1 Estudos e Objetivos

Este trabalho tem como objetivo detectar as concentrações e as emissões das principais espécies químicas liberada no processo de combustão da biomassa de espécie *Pinus elliotti*. Através da simulação de queimada em floresta realizada em laboratório. E realizar um estudo estatístico para indenficar qual variável mais influenciou no experimento.

2. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS

A seguir serão citados alguns artigos que auxiliaram na familiarização com o assunto de queima de biomassa onde se procurou citar as partes mais importantes. Foram consultados artigos que permitiram a aprendizagem de conceitos básicos técnico-científicos assim como resumos e relatórios anteriores de bolsistas.

2.1 Revisão Bibliográfica

Lobert et al. (1990) queimaram biomassa em laboratório para avaliar os compostos de nitrogênio emitidos na queima de vegetação seca. Descobriram que a emissão de NO_x, HCN e CH₃CN são suficientes para contribuir significativamente para o balanço atmosférico dos compostos. Além disso, possivelmente metade do nitrogênio na biomassa pode ser convertida para nitrogênio molecular (N₂). Nas queimas realizadas produziu-se principalmente CO₂, 10% CO e aproximadamente 2% de CH₄ e outros hidrocarbonetos.

Utilizaram um mecanismo de escala pequena de queima construído para simular fogo aberto. Determinaram CO₂, CO, hidrocarbonetos não metanos (NMHC) e CH₄ assim como a maioria das importantes espécies de compostos de nitrogênio: NO_x (NO e NO₂), amoníaco (NH₃), alguns compostos de cianeto tal como HCN e CH₃CN, e óxido nitroso (N₂O). Observaram também diferentes estágios da queima separadamente. Dividiu-se a queima em uma fase de chama emitindo compostos oxidados tal como CO₂, NO_x e N₂O, e um de incandescência, queima incompleta, com menos substâncias oxidadas tal

como CO, hidrocarbonetos, amoníaco e nitritos. Observaram que aproximadamente 90% do nitrogênio na biomassa e 95% do carbono foram volatilizados durante a queima, com média de perda de peso de 75% na fase chama e 25% no estágio de incandescência. Os combustíveis mais importantes na emissão de conteúdos originais de nitrogênio foram: NO_x (13%), amoníaco (4%), HCN (2,4%) e CH₃CN (1%). Menores contribuições foram feitas por N₂O, outros óxidos nitrosos (principalmente HNO₃). Notaram que as emissões de NO_x na queima de biomassa tropical é responsável por aproximadamente 20% do balanço global enquanto emissões de amoníaco representa aproximadamente 10% da fonte global.

Soares Neto et al. (2009) fizeram experimento no arco de desflorestamento, próximo à cidade de Alta Floresta, no estado do Mato Grosso, Brasil. A média do conteúdo de carbono de biomassa seca usada foi de 48% e a média estimada de conteúdo úmido de biomassa foi de 42% em base úmida. O teste com a biomassa em campo foi estimado 528 toneladas por ha e a soma de carbono no chão antes da queima foi 147 toneladas por ha. Obtiveram uma eficiência de combustão para o experimento de 23,9%. Mediram-se: CO₂, CO, CH₄, C₂ e C₃ (hidrocarbonetos), e particulados. As concentrações de emissões de CH₄ e C₂ – C₃ (hidrocarbonetos) foram correlacionados linearmente com aquelas de CO. As eficiências de combustão para as fases de chama, transição e incandescência foram 0,949; 0,889 e 0,844 respectivamente. Obtiveram os Fatores de Emissão médios de CO₂, CO, CH₄, NMHC e PM_{2,5}, respectivamente, 1599; 111,3; 9,2; 5,57 e 4,84 gramas por kg de biomassa seca queimada. Um hectare de floresta queimada liberou 117.000 kg de CO₂, 8.100 kg de CO, 675 kg de CH₄, 407 kg de NMHC e 354 kg de particulados.

3. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

3.1 Ensaio de combustão em laboratório

O experimento de queima de biomassa foi realizado em um contêiner contendo uma bandeja de queima de 1 m², como mostrado nas Figuras 1 e 2 abaixo.

Na chaminé foi instalado um exaustor axial, com controle de rotação, para exaustão dos gases de combustão e sensores para quantificar a vazão na chaminé. Uma bomba de diafragma succiona amostras dos gases através de sondas instaladas no interior da chaminé e os conduz por uma tubulação onde existem filtros para retenção de

particulados e banhos térmicos para retenção de umidade e alcatrão presentes na amostra.



Figura 1 - Visão geral do equipamento experimental de queima.



Figura 2 - Balança e prato para testes de biomassa, e boca da chaminé.

3.2 Analisadores Específicos

Após o início do processo de combustão, as amostras fluem para os analisadores específicos onde são determinadas as concentrações dos gases CO_2 , CO , NO e hidrocarbonetos não queimados (UHC). Os analisadores estão ilustrados na figura 3.

Todas as variáveis medidas são transmitidas em tempo real para um sistema de aquisição de dados onde são registradas continuamente durante todo o ensaio. O software usado para esta aquisição é o LabView.



Figura 3 - Analisadores dos gases CO₂, CO, NO e UHC

3.3 Sistema de coleta de gases

Os componentes do sistema de amostragem de gases na mesa de comando são detalhados na Figura 4.

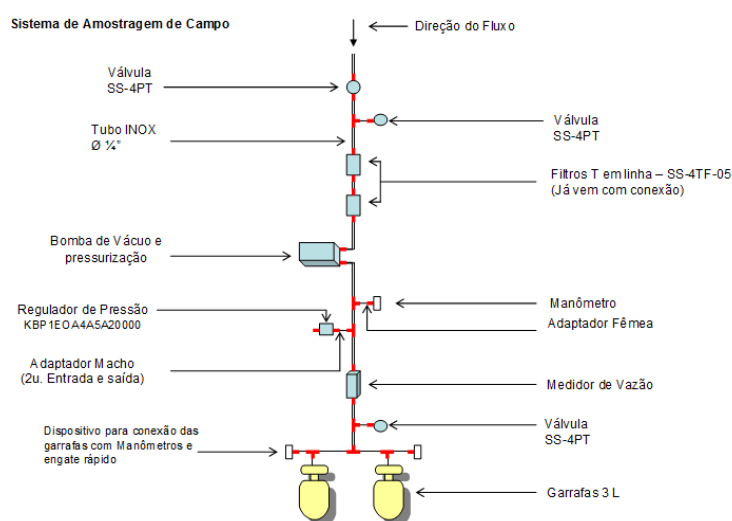


Figura 4 - Esquema da disposição dos componentes do sistema de amostragem de gases na mesa de comando.

O sistema de coleta é constituído por dois filtros, uma válvula de pressão (*back pressure*), um controlador de vazão e dois engates rápidos para o encaixe das garrafas (canisters), que são mantidas inicialmente limpas e sob vácuo, usadas para armazenamento das amostras nas diferentes fases de combustão. É importante ressaltar que neste experimento não foi usado as garrafas para a coleta dos gases, foi utilizado apenas os analisadores específicos, onde tinha o encaixe das garrafas foi isolado para não interferir nos resultados dos experimentos. Esse sistema permite uma amostragem

constante de amostra, a uma determinada vazão e pressão, reguladas simultaneamente pelo controlador de vazão e pela válvula de pressão.

3.4 Amostragem da Parte experimental em Laboratório

Antes de realizar o experimento foi realizada a montagem da estrutura da biomassa em laboratório de uma forma fácil e prática para simular a queimada em campo. Podemos ver na figura 5 e 6 a estrutura montada em cima da bandeja.



Figura 5 - Estrutura de troncos com diâmetro menor ou igual a 2,5 cm.



Figura 6 - Estrutura de troncos com diâmetro maior que 2,5 cm.

Nas figura 7 observar-se o processo de queima da biomassa *pinus elliotti*.



Figura 7 - Processo de queima da biomassa.

3.5 Cálculo do Fator de Emissão

Fator de Emissão é um parâmetro amplamente utilizado no ramo de pesquisa de combustão de biomassa e representa a quantidade de massa emitida de um gás quando é consumido um quilograma de biomassa seco na combustão. O Fator de Emissão de uma espécie X, ou FE_X , é calculado através da Equação 1 ilustrada a seguir:

$$FE_X = \frac{V_{Total - \text{chaminé}}}{m_{(\text{combustível base seca})}} \frac{[\text{X}] \cdot M_X}{V_{X(1 \text{ mol a } 1 \text{ atm e } 0^\circ \text{C})}} \left[\frac{g_X}{kg_{\text{combustível}}} \right] \quad (1)$$

O Fator de Emissão é calculado para um determinado período de tempo em que a combustão ocorre. Na equação, o termo $[\text{X}]$ representa a concentração média do gás X durante o período de tempo estudado. Para os nossos cálculos, essa concentração média foi determinada pela concentração média registrada nos experimentos subtraída pelo valor de background determinado para cada experimento.

3.8 Teor de umidade

As amostras foram introduzidas em um forno Fanem Modelo 315SE (Figura 8), a 80°C até que a massa ficasse constante, obtendo-se a massa seca.



Figura 8 – Forno de secagem da biomassa.

O teor de umidade foi obtido pela diferença entre os pesos da amostra, antes e logo após ser submetida à secagem, através da equação 2:

$$\omega_{bu} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

m_1 = massa da amostra de biomassa natural (g)

m_2 = massa de amostra de biomassa seca (g)

O teor de umidade foi calculado para dois dias, portando pegou-se amostra de galhos e liteira no dia 02/05/2016 e outra duas amostras no dia 03/05/2016. Feito os cálculos chegou-se nos seguintes resultados:

- Dia 02/05/2016 - Umidade dos Galhos = 10,49% e Umidade da liteira = 7,90%
- Dia 03/05/2016 – Umidade dos galhos = 11% e Umidade da liteira = 9,49%

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para determinar a concentração das espécies químicas através dos analisador específico foi utilizado o software LabView, onde era gerado dados essenciais para os cálculos do fator de emissões de todos os testes, tais dados como:

- Tempo inicial e final do experimento;
- Massa inicial e final do experimento;

- Concentração de CO₂, CO, NO e UHC; e
- Vazão da chaminé.

4.1 Fatores de Emissão

Foram realizados 8 experimentos com amostras constituídas de aproximadamente 90% de galhos e 10% de liteira.

Os valores de concentração média (ppm) de CO₂, CO, NO e UHC foram obtidos através de analisadores específicos. Na tabela 1 temos os dados dos resultados obtidos dos fatores de emissão de todos testes e na tabela 2 a média dos fatores de emissão de todo o experimento.

Tabela 1 - Fatores de emissão das espécies químicas liberadas pela queima de biomassa *pinus elliotti*.

| Nº | CO ₂ (g/kg) | CO (g/kg) | NO (g/kg) | UHC (g/kg) |
|---------|---------------------------|--------------|--------------|---------------|
| Teste 1 | 1364 | 25,6 | 0,77 | 6,52 |
| Teste 2 | 1107 | 53,7 | 0,64 | 18,0 |
| Teste 3 | 1598 | 36,2 | 1,22 | 5,16 |
| Teste 4 | 1549 | 55,5 | 0,96 | 12,8 |
| Teste 5 | 1362 | 33,6 | 1,14 | 8,47 |
| Teste 6 | 1025 | 48,1 | 0,7 | 16,4 |
| Teste 7 | 1614 | 38,4 | 1,45 | 6,22 |
| Teste 8 | 1543 | 62,2 | 1,2 | 11,0 |

Tabela 2 – Fator medio de emissão das espécies químicas liberadas pela queima de biomassa *pinus elliotti*.

| | Fator de Emissão (g/kg) |
|-----------------|-------------------------|
| CO ₂ | 1435 |
| CO | 42,8 |
| NO | 1,06 |
| UHC | 9,51 |

Todos os dados obtidos através dos analisadores específicos foram lançados em planilhas para efetuação dos cálculos. Um exemplo de planilha de cálculo pode ser observado na tabela 3.

Na figura 9 são apresentados os dados normalizados obtidos pelos analisadores específicos durante os experimentos realizados com diâmetro do tronco menor que 2,5 cmg considerados troncos finos, velocidade do vento 3,5 e sem inclinação da bandeja.

No gráfico observa-se a evolução das variáveis medidas como consumo da massa inicial até a massa final, as emissões de CO₂, CO, NO, UHC, temperatura da chaminé (T-ch) e o tempo que o teste foi realizado.

Tabela 3 - Dados obtidos através dos analisadores específicos referente so teste 1.

| Dados das emissões | CO ₂ | CO | NO | UHC |
|---|-----------------|----------|----------|----------|
| Emissão máxima (ppmv) | 8285,79 | 515,68 | 16,03 | 245,00 |
| Concentração média (ppmv) | 4495,32 | 120,73 | 4,91 | 51,84 |
| Background (ppmv) | 420,60 | 0,66 | 1,53 | 13,64 |
| Concentração real (ppmv) | 4074,72 | 120,07 | 3,38 | 38,20 |
| Massa Molar g/mol | 44,00 | 28,00 | 30,00 | 22,41 |
| Emissão Real 0°C e 1 atm (mg/m ³) | 7999,25 | 150,00 | 4,52 | 38,19 |
| Massa Emitida 0°C e 1 atm- Digiflux (mg) | 2604471,57 | 48837,05 | 1472,75 | 12434,36 |
| Massa Emitida 0°C e 1 atm - Digiflux (g) | 2604,47 | 48,84 | 1,47 | 12,43 |
| Fator de Emissão 0°C e 1 atm - Digiflux (g/kg) | 1396,78 | 26,19 | 0,79 | 6,67 |
| Água no ar (mg/m ³) | 11647,0 | 11647,0 | 11647,0 | 11647,0 |
| Água nos compostos (mg/m ³) | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 3,12 |
| Concentração real (ppmv) de água no ar | 14494,00 | 14494,00 | 14494,00 | 14494,00 |
| Concentração real corrigida (ppmv) Cor. | 4016,50 | 118,35 | 3,33 | 37,65 |
| Emissão Real 0°C e 1 atm (mg/m ³) Cor. | 7884,97 | 147,85 | 4,46 | 37,64 |
| Massa Emitida 0°C e 1 atm- Digiflux (mg) Cor. | 2567261,67 | 48139,32 | 1451,71 | 12256,71 |
| Massa Emitida 0°C e 1 atm - Digiflux (g) Cor. | 2567,26 | 48,14 | 1,45 | 12,26 |
| Fator de Emissão 0°C e 1 atm - Digiflux (g/kg) Cor. | 1376,82 | 25,82 | 0,78 | 6,57 |
| Fator de Emissão 0°C e 1 atm (g/kg) - Corrigido (maçarico) | 1364,18 | | | |

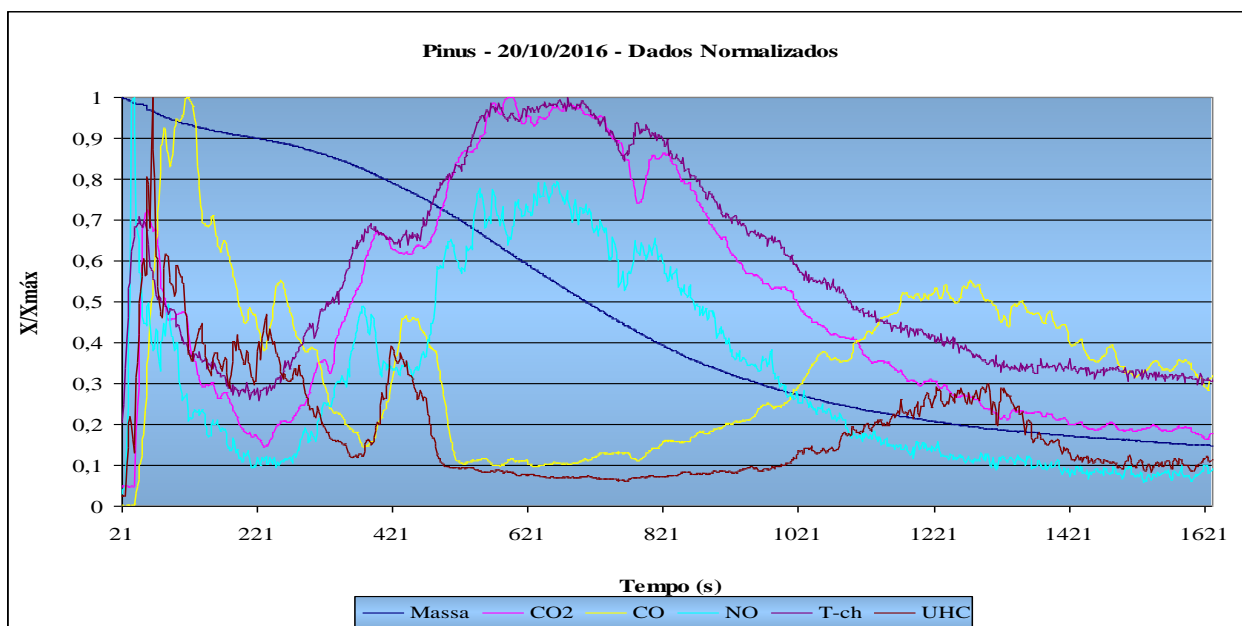


Figura 9 - Dados obtidos através dos analisadores específicos durante o experimento, referentes ao teste 3.

Na figura 10 são apresentados os dados normalizados obtidos pelos analisadores específicos durante os experimentos realizados com diâmetro do tronco maior ou igual a 2,5 cm considerados tronco grosso, sem velocidade do vento e com inclinação da bandeja a 10°. No gráfico observa-se a evolução das variáveis medidas como consumo da massa inicial até a massa final, o desempenho das emissões de CO₂, CO, NO, UHC, temperatura da chaminé (T-ch) e o tempo que durou o teste.

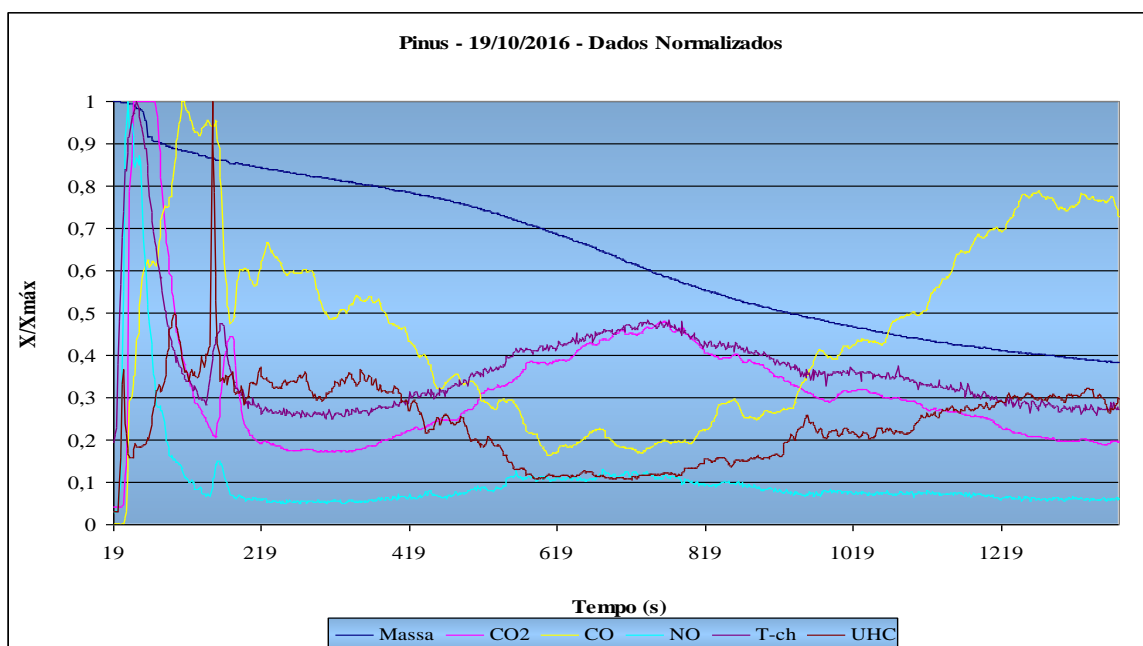


Figura 10 - Dados obtidos através dos analisadores específicos durante o experimento, referente ao teste 6.

4.2 Estudo Estatístico

No estudo estatístico foi realizado uma DOE (Planejamento de experimento) que tem como finalidade mostrar qual variável influenciou no decorrer do experimento. Todo esse estudo foi realizado com o auxílio do software minitab. O experimento foi realizado no modelo de fatorial 2^3 , nada mais é que, realizar 8 experimento com dois fatores (níveis) e três variáveis. As variáveis foram representadas por três letras, elas são;

- A = diâmetro do tronco (cm)
- B = Velocidade do vento (m/s)
- C = Inclinação da bandeja (graus).

Na tabela 4 onde tem um modelo de fatorail 2^3 observa-se como foi proposto as condições de todos os 8 testes. Nela podemos ver as três variáveis que foram analisadas, e as letras que representaram as demais variáveis.

Tabela 4 – Condições propostas para o experimento.

| Nº | A (diâmetro tronco) | B (vento) | C (inclinação) |
|----|---------------------|-----------|----------------|
| 1 | - | - | - |
| 2 | + | - | - |
| 3 | - | + | - |
| 4 | + | + | - |
| 5 | - | - | + |
| 6 | + | - | + |
| 7 | - | + | + |
| 8 | + | + | + |

(+) = nível alto

(-) = nível baixo

Nas figuras 11, 12, 13 e 14 observa-se as os efeitos principais de CO_2 , CO, NO e UHC das variáveis A, B e C durante o experimento, podemos observar este através do planejamento de experimento que foi realizado. Os níveis de cada variável, foram representados da seguinte maneira;

- A = 2,4 cm nível baixo/menor ou igual a 2,5 cm nível alto.
- B = 0 nível baixo/3,5 m/s nível alto.
- C = 0 nível baixo/10° nível alto.

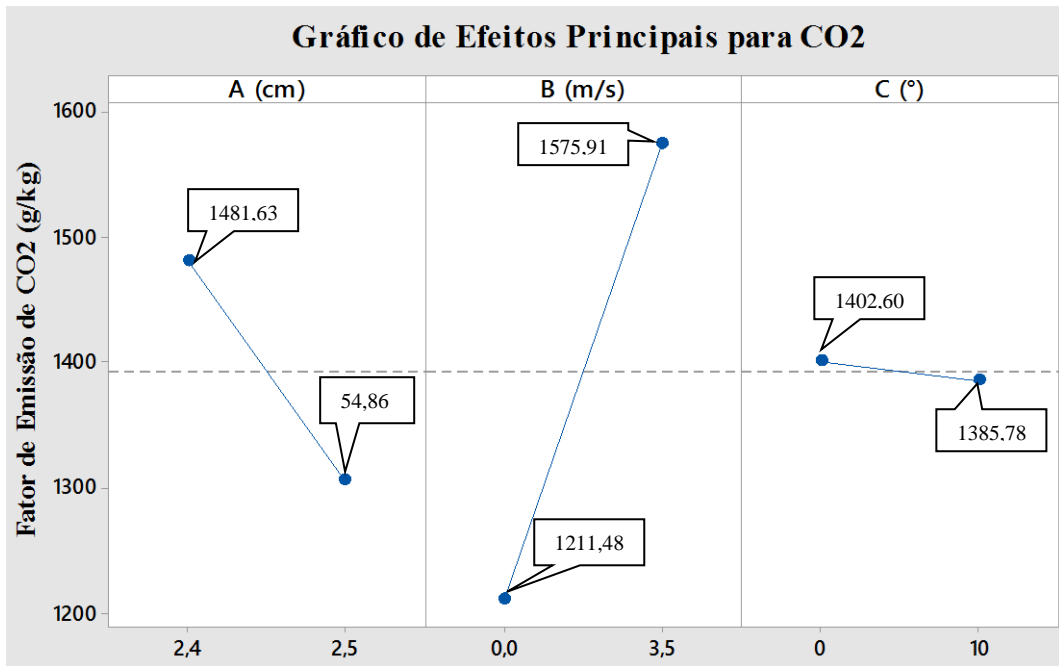


Figura 11 - Efeitos Principais de CO₂.

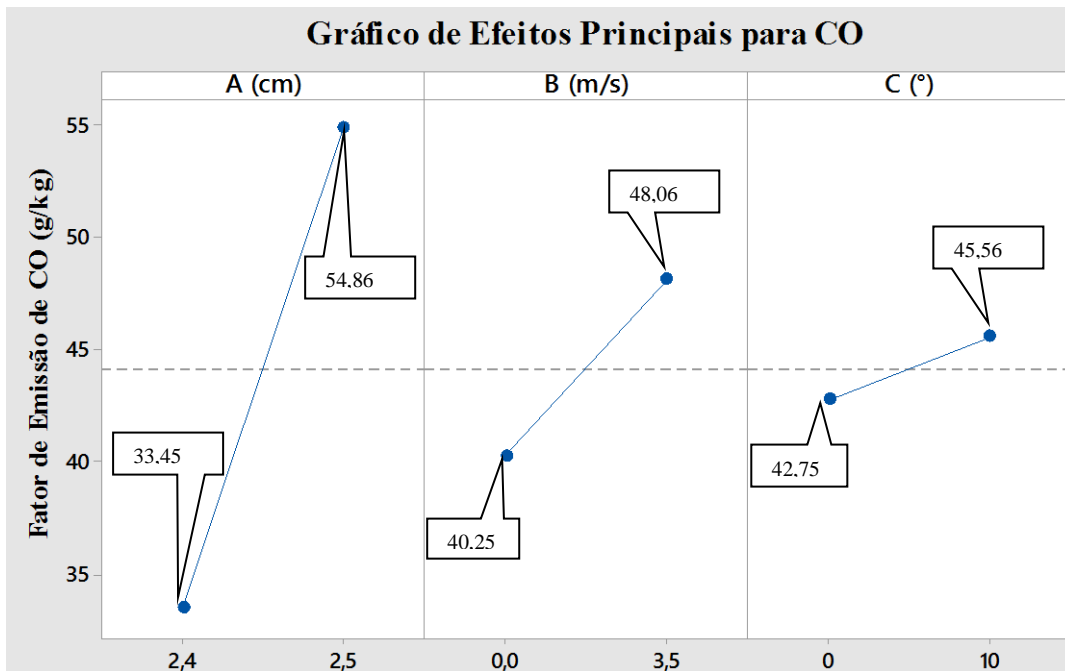


Figura 32 - Efeitos Principais de CO.

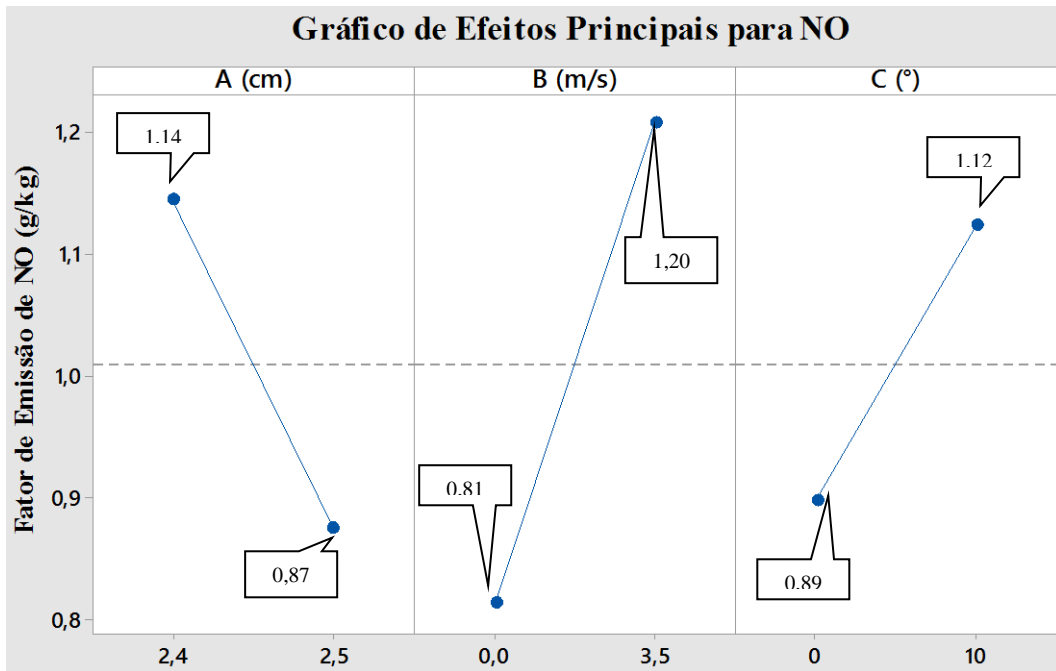


Figura 13 - Efeitos Principais do NO.

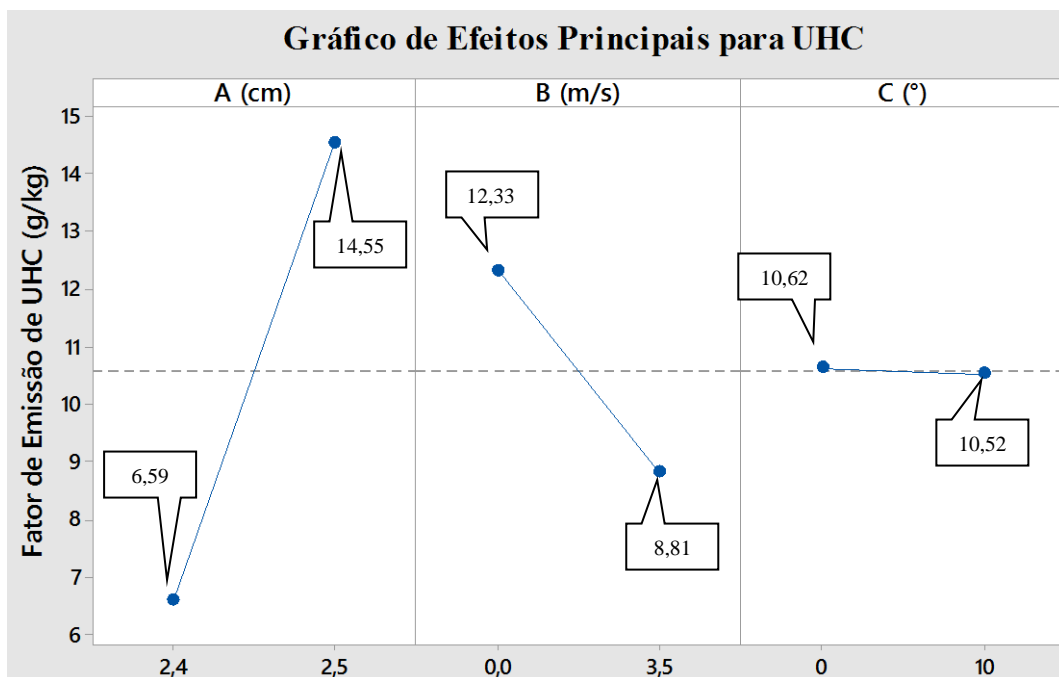


Figura 14 - Efeitos Principais de UHC.

Comparando-se os resultados dos graficos 11,12, 13 e 14 é possível observar que a variável que teve efeito principal maior ou seja, a que mais influenciou no experimento, foi a variável A e B. Portanto através do resultado final do estudo estatístico, concluiu-se que a variável que mais influenciou no experimento foi do diâmetro do tronco e velocidade do vento. Observa-se no grafico da figura 11 que o nível que teve maior fator de emissão de CO₂ foi o nível baixo (A-) com: CO₂ - 1481,63 g/kg, onde o diâmetro do tronco menor que 2,5 cm. Analisando ainda o gráfico da figura 11 relacionado a variavel B, o nivel que teve maior fator de emissão de CO₂, foi o nivel a alto (B+) com: CO₂ - 1575,91 g/kg, onde a velocidade do vento é de 3,5 m/s. Todos os valores obtidos foram analisados, mas o fator principal observado foi a emissão de CO₂, por ser o principal gas que contribui com o efeito estufa.

Para finalizar a discussão, gostaríamos de salientar que as amostras coletadas para a análise cromatográfica foram efetuadas, porém os resultados obtidos por esta técnica foram descartados. Observou-se que o cromatógrafo começou a apresentar um problema no seu detector de ionização de chama, não sendo confiável os resultados. Infelizmente não tivemos recursos para sanar este defeito.

5. CONCLUSÃO

Os fatores médios de emissão obtidos para o *Pinus elliotti* foram: CO₂ - 1435 (g/kg); CO - 42,8 (g/kg); NO - 1,06 (g/kg) e UHC - 9,51 (g/kg).

O diâmetro do tronco e a velocidade do vento foram a variaveis que mais influenciaram na emissão de CO₂ no experimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LOBERT, J.M.; SCHARFFE, D.H.; HAO, W.M.; CRUTZEN, P.J., 1990, Importance of biomass burning in the atmospheric budgets of nitrogen-containing gases. **Nature**, **346 (1990) 552-554**.

LOBERT, J.M.; SCHARFFE, D.H.; HAO, W.M.; KUHLBUSCH, T.A.; SEUWEN, R.; WARNECK, P.; CRUTZEN, P.J., 1991, Experimental evaluation of biomass burning emissions: nitrogen and carbon containing compounds. In: J. S. Levine (editor). *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, pp 289 - 304. MIT Press.

SOARES NETO, T.G.; CARVALHO JR., J.A.; CORTEZ, E.V.; AZEVEDO, R.G.; OLIVEIRA, R.A.; FIDALGO, W.R.R., SANTOS, J.C., Laboratory evaluation of Amazon forest biomass burning emissions, *Atmospheric Environment*, 45 (2011) 7455 – 7461.

AMARAL, S.S.; CARVALHO JR., J.A.; COSTA, M.A.M., SOARES NETO, T.G.; DELLANI, R.; LEITE, L.H.S., Comparative study for hardwood and softwood forest biomass: Chemical characterization, combustion phases and gas and particulate matter emissions, *Bioresource Technology* 164 (2014) 55–63.

ANDREAE, M.O.; BROWELL, E.V.; GARSANG, M.; GREGORY, G.L.; HARRISS, R.C.; HILL, G.F.; JACOB, D.L.; PEREIRA, M.C.; SACHSE, G.W.; SETZER, A.W.; SILVA DIAS, P.L.; TALBOT, A.L.; TORRES, A.L.; WORSY, S.C., 1988, Biomass burning emissions and associated haze layers over Amazonia. *J. Geophys. Res.*, 93, 1509-1527.

ANDREAE, M.O., 1991, Biomass burning: Its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: J. S. Levine (editor). *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, pp 3- 21. MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London, England.

ANDREAE, M.O. and MERLET, P., 2001, Emissions of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochem. Cycles*, 15, 955-966.

BABBITT, R.E., WARD, D.E., SUSOT, R.A., ARTAXO, P., KAUFFMAN, J.B., 1996. "A comparison of concurrent airborne and ground-based emissions generated from biomass burning in the Amazon basin". In: SCAR-B: Smoke/Sulfate, Clouds and Radiation-Brazil: Proceedings. Transtec, São José dos Campos, SP, pp. 23–26.

CARVALHO, E.R.; CARVALHO, J.A.; VERAS, C.A.G.; FERREIRA, M.A.; SANDBERG, D.V., 2002, Estudo paramétrico sobre incandescência em biomassa, Submetido para apresentação no IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas.

CARVALHO, 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, *Atmos. Environ.* 29, 2301-2309.

CARVALHO, J.A.; HIGUCHI, N.; ARAÚJO, T.M.; SANTOS, J.C., 1998, Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil. *J. Geophys. Res.*, 103, 13195-13200.

CARVALHO, J.A.; COSTA, F.S.; VERAS, C.A.G.; SANDBERG, D.V.; ALVARADO, E.C.; GIELOW, R.; SERRA, A.M., SANTOS, J.C., 2001, Biomass fire consumption and carbon release rates of rainforest-clearing experiments conducted in Northern Mato Grosso, Brazil. *J. Geophys. Res.*, 106, 17877-17877.

CRUTZEN, P.J., 1971, Ozone production rates in an oxygen, hydrogen, nitrogen-oxide atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 76, 7311-7327.

CRUTZEN, P.J.; HEIDT, L.E.; KRASNECK, J.P.; POLLOCK, W.H.; SEILER, W., 1979, Biomass burning as a source of atmospheric trace gases: CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl and COS. *Nature*, 282, 253-256.

CRUTZEN, P.J., 1987, Role of the tropics in atmospheric chemistry, In: *The Geophysiology of Amazonia Vegetation Climate Interaction*, edited by R. E. Dickinson, pp. 107-131, John Wiley, New York.

CRUTZEN, P.J. and ANDREAE, M.O., 1990, Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 250, 1669-1678

GOODE, J.G.; YOKELSON, R.J.; SUSOTT, R.A., WARD, D.E., 1999, Trace gas emissions from laboratory biomass fires measured by open-path Fourier transform infrared spectroscopy: Fires in grass and surface fuels. *J. Geophys. Res.*, 104, 21237-21245.

GOODE, J.G.; YOKELSON, R.J.; WARD, D.E.; SUSOTT, R.A.; BABBITT, R.E.; DAVIES, M.A.; HAO, W.M., 2000, Measurements of excess O₃, CO₂, CO, CH₄, C₂H₄, C₂H₂, HCN, NO, NH₃, HCOOH, CH₃COOH, HCHO, and CH₃OH in 1997 Alaskan biomass burning plumes by airborne Fourier transform infrared spectroscopy (AFTIR), *J. Geophys. Res.*, 105, 22147-22166.

GRAEDEL, T.E.; CRUTZEN, P.J., 1997, In: *Atmosphere, Climate, and Change*. Scientific American Library, New York.

GRIFFITH, D.W.T.; MANKIN, W.G.; COFFEY, M.T.; WARD, D.E.; RIEBAU, A., 1991, FTIR remote sensing of biomass burning emissions of CO₂, CO, CH₄, CH₂O, NO, NO₂, NH₃, and N₂O, In: J. S. Levine (editor). *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, pp 3 - 21. MIT Press.

HOFFA, E.A.; WARD, D.E.; HAO, W.M.; SUSOTT, R.A.; WAKIMOTO, R.H., 1999, Seasonality of carbon emissions from biomass burning in a Zambia savanna. *J. Geophys. Res.*, 104, 13841-13853.

KAUFMAN, Y.J.; HOBBS, P.V.; KIRCHHOFF, W.J.H.; ARTAXO, P.; REMER, L.A.; HOLBEN, B.N.; KING, M.D.; WARD, D.E.; PRINS, E.M.; LONGO, K.M.; MATTOS, L.F.; NOBRE, C.A.; SPINHIRNE, J.D.; JI, Q.; THOMPSON, A.M.; GLEASON, J.F.; CHRISTOPHER, S.A.; TSAY, S.C., 1998, Smoke, clouds, and radiations-Brazil (SCAR-B) experiment. *J. Geophys. Res.*, 103, 31783-31808.

LIN, A.C.; MARTINS, M.A.; FARHAT, S.L., POPE III, C.A.; CONCEIÇÃO, G.M.S., ANASTÁCIO, M.V., 1999, Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. *Pediatr. Perinat. Epidemiol.*, 13, 475-487.

LOBERT, J.M.; SCHARFFE, D.H.; HAO, W.M.; CRUTZEN, P.J., 1990, Importance of biomass burning in the atmospheric budgets of nitrogen-containing gases. *Nature*, 346, 552-554.

LOBERT, J.M.; SCHARFFE, D.H.; HAO, W.M.; KUHLBUSCH, T.A.; SEUWEN, R.; WARNECK, P.; CRUTZEN, P.J., 1991, Experimental evaluation of biomass burning emissions: nitrogen and carbon containing compounds. In: J. S. Levine (editor). *Global*

Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications, pp 289 - 304. MIT Press.

LOBERT, J.M.; KEENE, W.C.; LOGAN, J.A.; YEVICH, R., 1999, Global chlorine emissions from biomass burning: reactive chlorine emissions inventory. *J. Geophys. Res.*, 104, 8373-8390.

SOARES NETO, T.G.; CARVALHO, J.A.; VERAS, C.A.G.; ALVARADO, E.C.; GIELOW, R.; LINCOLN, E.N.; CHRISTIAN, T.J.; YOKELSON, R.J.; SANTOS, J.C., 2009, Biomass consumption and CO₂, CO and main hydrocarbon gas emissions in an Amazonian forest clearing fire, *Atmospheric Environment* 43 (2009) 438–446

WARD, D.E.; PETERSON, J.; HAO, W.M., 1993, An inventory of particulate matter and air toxic emissions from prescribed fires in the USA for 1989. In *Proceedings of the 86th annual Meeting and Exhibition of the Air and Waste Management Association*, Denver, Colorado.

WARD, D.E.; SHEA R.; HAO, W.M., 1994, Fires in tropical savanna ecosystems – The need for mitigation. In: *Proceedings of the Air & Waste Management Association International Specialty Conference. Global Climate Change – Science, Policy, and Mitigation Strategies*, Phoenix, Arizona.

Assinatura
Orientador(a)

Assinatura
Bolsista