

Artigos

Emissão de gases tóxicos em incêndios florestais

Emission of toxic gases in forest fire

Nilton Cesar Fiedler^I 

Antonio Henrique Cordeiro Ramalho^{II} 

Ruan Specimille Falcão^I 

Rayane Aparecida Silva Menezes^I 

Leonardo Duarte Biazatti^I 

^IUniversidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil

^{II}Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, São Félix do Xingu, PA, Brasil

RESUMO

Os incêndios florestais têm afetado grandes áreas em diversas regiões do planeta. A emissão de gases durante esses sinistros se configura como a causa de diversos problemas à saúde dos combatentes e da população em geral. Assim, objetivou-se, com o presente estudo, a análise e quantificação dos gases poluentes e dos materiais particulados emitidos durante a ocorrência de incêndios florestais em diferentes tipos de biomassa e a correlação com os possíveis problemas à saúde dos brigadistas. Para tal, foram simulados incêndios em biomassa de eucalipto, pinus, teca e pastagem, em uma mesa experimental no Sul do Estado do Espírito Santo. Com um detector de gases portátil, foram captados e analisados os gases CH₄, CO, CO₂, NH₃ e H₂S liberados durante o processo de combustão. Com o uso das cinzas remanescentes, mensurou-se o tamanho dos materiais particulados. Para a determinação da influência dos materiais na liberação dos gases, foram aplicados o delineamento inteiramente casualizado e o teste de Tukey a 5% de probabilidade. A queima da biomassa de pastagem resultou na maior liberação de CO (796,52 ppm), CO₂ (490,52 ppm) NH₃ (32,58 ppm). Portanto conclui-se que, os materiais particulados emitidos pelos tratamentos do presente estudo apresentaram tamanhos superiores aos indicados como inaláveis pelos seres humanos, em relação aos danos à saúde humana, a queima da biomassa de pastagem e de eucalipto são as mais nocivas. Os resultados elucidaram a importância dos EPI's para os combatentes e todos os envolvidos de diretamente com os incêndios florestais.

Palavras-chave: Proteção florestal; Combustão de biomassa; Propagação do fogo



ABSTRACT

Forest fires have affected large areas in different regions of the planet. The emission of gases during these accidents is the cause of several problems to the health of the combatants and the population in general. Thus, the aim of the present study was to analyze and quantify polluting gases and particulate materials emitted during the occurrence of forest fires in different types of biomass and the correlation with the possible health problems of the brigadiers. For this purpose, fires in eucalyptus, pine, teak and pasture biomass were simulated in an experimental table in the south of the state of Espírito Santo. With a portable gas detector, CH₄, CO, CO₂, NH₃ and H₂S gases released during the combustion process were captured and analyzed. Using the remaining ash, the size of the particulate materials was measured. To determine the influence of materials on the release of gases, a completely randomized design and the Tukey test at 5% probability were applied. The burning of pasture biomass resulted in a greater release of CO (796.52 ppm), CO₂ (490.52 ppm) NH₃ (32.58 ppm). Therefore, it is concluded that the particulate materials emitted by the treatments of the present study were larger than those indicated as inhalable by humans, in relation to the damage to human health, it is concluded that the burning of pasture and eucalyptus biomass are the most harmful. The results elucidated the importance of the use of PPE's by the combatants and all those directly involved with forest fires.

Keywords: Forest protection; Biomass combustion; Fire propagation

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são definidos como toda e qualquer energia derivada da combinação entre combustível, comburente e calor, capaz de consumir vegetações vivas ou mortas. Esses sinistros são considerados os principais causadores de prejuízos econômicos, sociais e ambientais no meio florestal (GONÇALVES, CASTRO, HACON, 2012; CANZIAN, FIEDLER, BRINATE, JUVANHOL, BIGHI, 2016).

Além da destruição em massa de diferentes ecossistemas, das alterações climáticas, das perdas ambientais, econômicas e sociais, os incêndios florestais também são responsáveis pela emissão de quantidades significativas de gases poluentes (CANZIAN, FIEDLER, BRINATE, JUVANHOL, BIGHI, 2016). Sendo assim, durante o combate, o contato direto com os gases oriundos da combustão da biomassa pode oferecer riscos à saúde dos brigadistas, bem como da população em geral.

De acordo com Gonçalves, Castro e Hacon (2012), um ambiente saudável, ou seja, livre de gases poluentes, está diretamente ligado à qualidade da saúde humana



Os autores evidenciam ainda a importância do enriquecimento da gama de trabalhos científicos que busquem auxiliar na redução dos incêndios florestais por meio da divulgação de dados relativos aos problemas de saúde gerados pelos mesmos.

A ocorrência dos sinistros supracitados interfere na saúde humana devido ao seu elevado potencial de emissão de gases poluentes, eventos esses, de acordo com Fearnside, Barbosa e Pereira (2013), responsáveis pela emissão de 25% dos gases causadores do efeito estufa no planeta. Uchoa, Lustosa e Uchoa (2019) elucidam que as infecções no sistema respiratório, asma, conjuntivite, bronquite, irritação nos olhos e garganta, tosse, falta de ar, vermelhidão e alergia na pele são as enfermidades mais recorrentes. Os autores afirmam ainda que, quanto mais próximo do local de incidência, maiores são os riscos à saúde.

No caso específico dos combatentes de incêndios florestais, os problemas de saúde resultam principalmente das exaustivas jornadas de trabalho, da dificuldade de acesso e locomoção nos locais de ocorrência além da omissão de utilização ou da quantidade insuficiente de equipamentos de proteção individual (EPI's) (MAGALHÃES; LIMA; RIBEIRO, 2011).

Sendo assim, a hipótese que norteia o presente estudo é de que a inalação dos gases oriundos dos incêndios florestais durante o combate por parte dos brigadistas pode acarretar danos à saúde dos mesmos. Assim, objetivou-se com o presente estudo a análise e quantificação dos gases poluentes e dos materiais particulados emitidos durante a ocorrência de incêndios florestais em diferentes tipos de biomassa e a correlação com os possíveis problemas à saúde dos brigadistas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

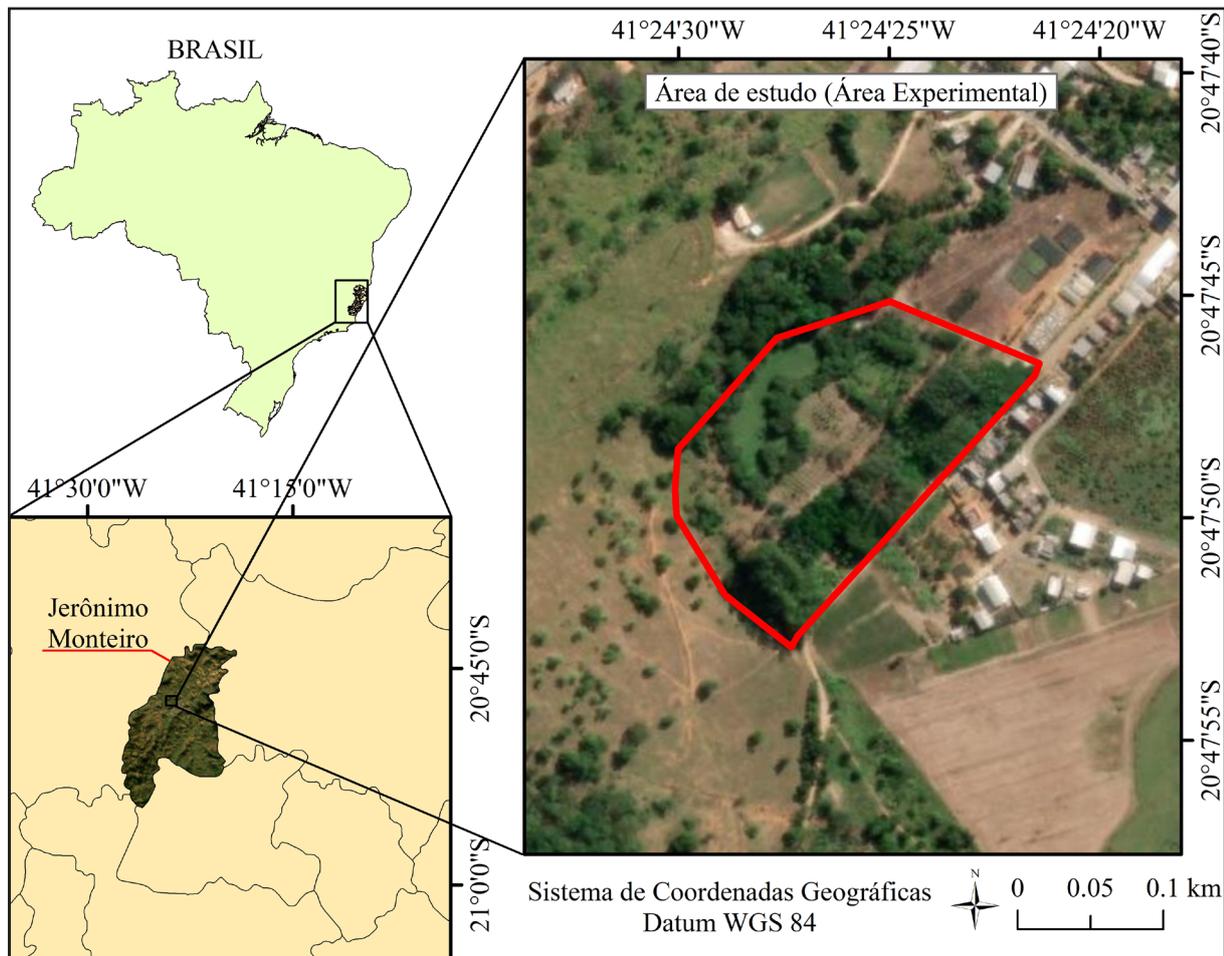
2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizada no município de Jerônimo Monteiro, entre os meridianos de



41°24'30" e 41°24'20" longitude Oeste de Greenwich e os paralelos de 20°47'55" e 20°47'40" de latitude Sul (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Autores/as (2023)

De acordo com a classificação de Köppen, o clima do município é do tipo “Cwa”, ou seja, tropical quente úmido, com inverno frio e seco, com temperatura média de 23 °C e precipitação pluviométrica de 1.200mm.ano⁻¹ (KÖPPEN; GEIGER, 1936). Nos dias das coletas do presente estudo, a velocidade média do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar foram, respectivamente, de 1,23 km.h⁻¹, 28,45 °C e 62,14% (INPE, 2019).



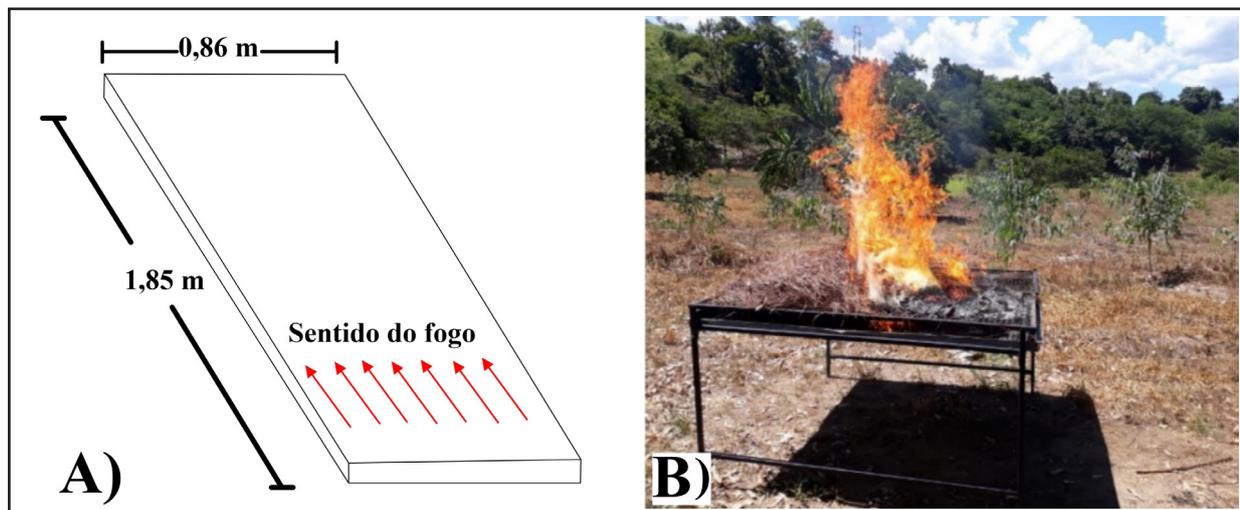
2.2 Material combustível avaliado

Para realização do experimento, foram coletados 3 kg de material combustível em cada uma das 10 parcelas aleatórias de 1 m², compostas por biomassa de pastagem (*Poaceae* spp) e serapilheira de povoamentos de Eucalipto (*Eucalyptus* spp), Pinus (*Pinus caribaea*) e Teca (*Tectona grandis*) com 6 anos de idade.

2.3 Metodologia aplicada

O material combustível foi uniformemente distribuído ao longo de uma mesa experimental de incêndios com as dimensões de 1,85 x 0,86 m. Para a ignição da biomassa, utilizou-se um “pinga-fogo”, iniciado em uma das extremidades da plataforma, criando-se uma linha de queima, como demonstra a Figura 2.

Figura 2 – Procedimentos metodológicos utilizados para a queima da biomassa.



Fonte: Autores (2023)

Em que: A) Representação gráfica das dimensões da mesa experimental, sentido ponto de início da queima da biomassa; B) Queima do material combustível.

Para a detecção e a quantificação do metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), ácido sulfídrico (H₂SO₄), oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂) e amônia (NH₃), presentes na fumaça proveniente da queima da biomassa durante as simulações dos incêndios florestais, foi utilizado um detector de gases portátil (marca Instrutherm,



modelo DG- 550). Os gases em análise foram capturados diretamente da fumaça a uma altura de 1,60 m, a partir do momento em que a linha de fogo atingia a metade da mesa experimental. A cada 10 segundos, os gases foram quantificados.

Para análise dos efeitos clínicos que estes gases podem causar aos brigadistas sob diferentes concentrações de CO, CO₂, H₂SO₄ e NH₃, foram utilizados os dados apresentados na Tabela 1, propostos por Simonton, Spears (2007), Asín (2010), Bonino (2016), Wisconsin Department of Health Services (2019), The Fertilizer Institute (2020).

Tabela 1 – Concentração, efeitos e sintomas dos gases no organismo humano

Gás	Concentração (ppm)	Classe	Efeitos e sintomas nas pessoas
CO	0 – 35	I	Nível permissível de exposição
	50 – 200	II	Dor de cabeça, falta de ar, desconforto
	200 – 500	III	Perda de visão, fadiga, irritabilidade, dor de cabeça, taquicardia, colapso
	500 – 900	IV	Confusão e dor de cabeça e náusea
	1000 – 1200	V	Coma e convulsão
	≥ 1900	VI	Letal
CO ₂	≤ 1000	I	Nível permissível de exposição
	1000 – 2000	II	Sonolência e falta de ar
	2000 – 5000	III	Dor de cabeça, sonolência, baixa concentração, aumento da frequência cardíaca e leve náusea
	≥ 5.000	IV	Toxicidade ou privação de oxigênio, danos mentais, coma e até morte.
H ₂ SO ₄	0 – 10	I	Constricção brônquica, aborto espontâneo, irritação dos olhos, nariz e garganta
	10 – 50	II	Dor de cabeça, tontura, náusea, vômito, tosse, dificuldade para respirar
	50 – 250	III	Paralisia olfativa, grave irritação do trato respiratório, irritação ocular/ conjuntivite aguda, choque, convulsões, coma e morte em casos graves
NH ₃	< 20	I	Nível permissível de exposição
	20 – 80	II	Desconforto leve, irritação perceptível nos olhos e garganta
	80 – 140	III	Irritação grave, incômodo irritação nos olhos, peito, nariz e garganta
	140 – 700	IV	Irritação do trato respiratório superior, lacrimejamento
	700 - 1700	V	Incapacitação por lacrimejamento e tosse
	1700 - 10000	VI	Rapidamente fatal
	≥ 10000	VII	Imediatamente letal

Fonte: Adaptado de Simonton, Spears (2007), Asín (2010), Bonino (2016), Wisconsin Department of Health Services (2019), The Fertilizer Institute (2020)



De acordo com o NSW-EPA (2020), o metano não apresenta risco à saúde humana em concentrações geralmente encontradas no meio ambiente, baixos níveis do gás pode causar tonturas, dores de cabeça ou fadiga, no entanto, esses sintomas diminuem ao fim da exposição do metano termina. Altas concentrações de metano deslocam e privam o corpo do oxigênio, o que pode representar um risco de asfixia, agitação, fala arrastada, náuseas, vômitos e dores de cabeça.

O Material Particulado (MP), depositado no fundo da mesa após a queima da biomassa, foi dimensionado com o auxílio de uma régua graduada, como demonstra a Figura 3.

Figura 3 – Mensuração do material particulado da queima da biomassa



Fonte: Autores (2023)

Para classificar o MP conforme o tamanho das partículas, foi utilizada a classificação criada por Santos (2001), na qual:

- a) Não inaláveis: partículas maiores que 100 μm ;
- b) Inaláveis: partículas menores que 100 μm são capazes de penetrar pelo nariz e pela boca;
- c) Torácicas: partículas menores que 25 μm são capazes de penetrar além da faringe;
- d) Respiráveis: partículas menores que 10 μm são capazes de penetrar na região alveolar.



Para determinar a influência de cada material na liberação dos gases presentes na fumaça, o experimento foi instalado sob o delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos, representados pelos tipos de material combustível (pastagem, serapilheira de eucalipto, serapilheira de pinus e serapilheira de teca) e cinco repetições (queima da biomassa presente na mesa de simulação). Após comprovação da distribuição normal e homogeneidade dos dados, realizou-se a análise de variância, a fim de verificar a existência de diferença significativa entre os tratamentos e aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias dos tratamentos. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o software Sisvar, versão 5.7 (FERREIRA, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as análises realizadas neste estudo, não foi constatada a presença dos gases metano e ácido sulfídrico em nenhum dos tratamentos.

Para a análise de variância da quantificação dos gases monóxido de carbono, dióxido de carbono e amônia, verificou-se que houve diferença significativa em relação à quantidade liberada pelas diferentes espécies vegetais, durante a queima da biomassa. A análise permitiu ainda a detecção de diferença significativa entre o tamanho das partículas resultantes da queima da biomassa.

Os valores médios de monóxido de carbono (ppm) emitidos pela queima da biomassa dos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios de monóxido de carbono emitidos pela queima da biomassa dos diferentes tratamentos

Tratamentos	Concentração de gases (ppm)	Classe
	CO	
Teca	248,16 c	II
Pinus	571,10 b	III
Eucalipto	581,44 b	III
Pastagem	796,52 a	III

Fonte: Autores (2023)

Em que: Letras semelhantes nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



A combustão da biomassa ocorrida nos incêndios florestais resulta na liberação de monóxido de carbono, dióxido de carbono, amônia, metano e ácido sulfídrico, além dos materiais particulados. Diversos estudos científicos evidenciam os efeitos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana causados pelas emissões derivadas da queima da biomassa vegetal, como é o caso dos trabalhos de Fiedler, Lacerda, Ramalho, Berude, Neves e Rodrigues (2020), Cavalcante (2019), Paixão, Cattanio e Kuhn (2019) e Canzian, Fiedler, Loureiro e Berude (2018). No entanto, a queima dos materiais combustíveis que compõem os tratamentos da presente pesquisa não culminou na emissão de metano e ácido sulfídrico.

Sendo assim, a partir dos resultados apresentados na Tabela 2, é possível perceber que os incêndios florestais que atingem áreas de pastagem resultam na maior liberação de CO, com uma média de 796,52 ppm, seguidos dos valores liberados pela queima da biomassa de eucalipto (581,44 ppm), pinus (571,10 ppm) e teca (248,16 ppm). Esse fato torna-se ainda mais preocupante quando associado ao risco de ocorrência de incêndios em relação ao tipo de vegetação, onde a pastagem e os plantios de eucalipto, de acordo com Torres, Roque, Lima, Martins e Faria (2017), apresentam combustibilidade elevada, o que faz com que a ocorrência desses sinistros seja mais frequente facilitando a liberação de monóxido de carbono para a atmosfera.

A Teca por sua vez, foi o único material combustível que não foi enquadrado na classe III de liberação do monóxido de carbono, sendo representado pela emissão de 248,16 ppm e aumentando a predisposição à ocorrência de dores de cabeça, falta de ar e desconforto aos seres humanos (Tabela 1).

De acordo com Carmo, Souza e Fiedler (2016), com a ocorrência da exposição do CO na atmosfera, o agente químico poderá ser introduzido no organismo humano pelas vias respiratórias. Ao inalar o CO, os pulmões rapidamente absorvem o gás, e, por apresentar afinidade com a hemoglobina 240 vezes maior que o oxigênio (O₂), uma pequena quantidade de CO pode saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, reduzindo e/ou impedindo o transporte de O₂, com consequente insuficiência respiratória (BRAGA, PEREIRA, BÖHM, SALDIVA, 2001).



De acordo com a Tabela 1, os níveis de CO encontrados na fumaça proveniente da queima da biomassa de pastagem acarreta problemas para a saúde humana, como confusão, dor de cabeça, náuseas, falta de ar, perda de visão, fadiga, irritabilidade, taquicardia e colapso. Um estudo realizado no Parque de Yellowstone no Norte da Califórnia, nos Estados Unidos (REINHARDT, BLACK, OTTMAR, 1995) avaliou o CO quanto ao seu potencial causador de danos à saúde dos bombeiros durante o combate à incêndios e indicou que a concentração do gás foi inferior a 200 ppm. A concentração de CO encontrada por esses autores foi inferior quando comparada com as médias obtidas neste estudo, devido principalmente a curta duração e a baixa intensidade do fogo, resultando em baixos níveis de fumaça.

Diante dos já citados efeitos causados pelo CO, percebe-se que o gás é um dos mais influentes na ocorrência de mortes de brigadistas durante o combate aos incêndios florestais. Além disso prejudica também a saúde da população em geral, devido ao seu carreamento pelo vento para regiões distantes do local de ocorrência do incêndio. Devido ao impacto que o monóxido de carbono pode causar na saúde das pessoas, é necessário realizar outros estudos para verificar a concentração do CO em um raio maior e não somente no local de ocorrência do incêndio, permitindo, assim, determinar os danos que podem ser causados à população em geral, e não somente aos combatentes.

Já o dióxido de carbono (gás tóxico, incolor e inodoro, resultante da combustão completa) só é nocivo à saúde dos brigadistas em altas concentrações, tornando-se asfixiante, devido ao deslocamento do oxigênio. Al-Araidah, Jaradat, Batayneh (2010) afirmam que altas concentrações de CO₂ na atmosfera podem causar distorções na visão, perda auditiva, sonolência, tontura, dor de cabeça, aumento dos batimentos cardíacos e da pressão sanguínea e também falta de ar. De acordo com a Tabela 1, o efeito prejudicial à saúde humana advindo da exposição ao dióxido de carbono só é percebido quando em valores de emissão superiores a 1000 ppm, que não é o caso do presente estudo.



Os valores médios de dióxido de carbono (ppm) emitidos pela queima da biomassa dos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores médios de dióxido de carbono emitidos pela queima da biomassa dos diferentes tratamentos

Tratamentos	Concentração de gases (ppm)	Classe
	CO ₂	
Teca	352,90 c	I
Pinus	413,06 bc	I
Eucalipto	431,10 ab	I
Pastagem	490,52 a	I

Fonte: Autores (2023)

Em que: Letras semelhantes nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É possível perceber, através da Tabela 3 que, todos a queima de todos os materiais combustíveis avaliados resultou em um nível de emissão de CO₂ inferior ao valor permissível de exposição (1000 ppm), sendo enquadrados na classe de emissão I. Isso porque, apesar de o CO₂ ser capaz de deslocar o oxigênio e reduzir o seu teor no meio ambiente, a ponto de se tornar asfixiante, o fato de o fogo estar ocorrendo em local aberto, com presença abundante de O₂, reduz a chance desse evento acontecer.

No entanto, existiu diferença significativa entre os tratamentos, sendo os maiores valores emitidos pela combustão na biomassa de pastagem (490,52 ppm) seguida da queima de eucalipto (431,10 ppm). Novamente, a biomassa de teca foi a que causou menor emissão de gases, sendo representada por 352,90 ppm.

De acordo com Castro, Branco, Balbo, Oliveira e Andrade (2011), uma pessoa pode ficar exposta durante 8 horas de trabalho diário sem causar danos à saúde a uma concentração de 30 ppm de amônia. Portanto, perante os resultados encontrados, apenas durante o combate a um incêndio oriundo da queima de pastagem haveria perigo para os combatentes, já que a média encontrada foi de 32,58 ppm (Tabela 4).



Os valores médios de amônia (ppm) emitidos pela queima da biomassa dos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios de amônia emitidos pela queima da biomassa dos diferentes tratamentos

Tratamentos	Concentração de gases (ppm)	Classe
	NH ₃	
Teca	2,84 b	I
Pinus	7,06 b	I
Eucalipto	10,04 b	I
Pastagem	32,58 a	II

Fonte: Autores (2023)

Em que: Letras semelhantes nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados acerca da liberação de amônia pela queima da biomassa de pastagem sugerem uma inserção dos valores na classe II (Tabela 4), podendo causar desconforto leve, irritação perceptível nos olhos e garganta (Tabela 1).

As espécies florestais não apresentaram diferença estatística significativa entre si e nem resultados considerados prejudiciais à saúde humana (< 20 ppm). Contudo, é importante lembrar que, de acordo com Fiedler, Merlo e Medeiros, as jornadas de combate de incêndios podem ser exaustivas e cansativas, culminando na necessidade de análise de períodos de exposição superiores a 8 horas. Durante a exposição à níveis de NH₃ superiores à 30 ppm em jornadas maiores que 8 horas, as pessoas tendem a perder a sensibilidade do olfato, além de irritar intensamente os olhos, nariz e vias respiratórias. Sintomas como dificuldade de respirar, dor no peito e edema pulmonar tendem a acontecer após a intoxicação pela inalação da amônia (FELIX; CARDOSO, 2004).

Já em relação aos materiais particulados (MP), a natureza química e o tamanho dos mesmos, podem ocasionar diversos efeitos na saúde humana. Segundo Ribeiro e



Assunção (2002), quanto menor o tamanho das partículas, maior será o efeito sobre a saúde das pessoas. Os autores afirmam ainda que, as partículas com diâmetros entre 5 e 30 μm de diâmetro, depositam-se, pelo impacto da turbulência do ar, no nariz, na boca, na faringe e na traqueia. Who (1979) e Arbex, Cançado, Pereira, Braga, Saldiva (2004), afirmam que partículas de menores que 5 μm , geralmente depositam-se por sedimentação na traqueia, nos brônquios e nos bronquíolos podendo causar irritação, inflamação e aumento na reatividade brônquica, redução do transporte mucociliar, descontrole autonômico, atividade pró coagulante e stress oxidativo o que pode culminar em aumento da ocorrência de crises de asma brônquica, Infecções respiratórias e doenças pulmonares obstrutivas crônicas. Partículas com menos de 1 μm de diâmetro, em geral depositam-se por difusão nos pequenos bronquíolos e alvéolos (WHO, 1979).

A Tabela 5, se refere às médias obtidas através do teste de Tukey para os tamanhos das partículas emitidas pelos diferentes tipos de material combustível.

Tabela 5 – Tamanho médio das partículas

Material combustível	Tamanhos médios das partículas (μm)
Eucalipto	5340 d
Teca	13860 c
Pastagem	28950 b
Pinus	35130 a

Fonte: Autores (2023)

Os resultados apresentados na Tabela 5 demonstram que em nenhum dos casos as partículas seriam inaladas pelos combatentes, pois apresentaram tamanho superior a 100 μm . Apesar disso, partículas suspensas no ar podem ficar retidas no nariz, na garganta e na parte interna do aparelho respiratório, causando incômodo, irritação nos olhos e narinas e, em casos mais graves, podem gerar câncer de pulmão e pneumoconiose.



Por ser de pequenas dimensões e muito leve, a fuligem liberada durante os incêndios florestais pode ser deslocada por grandes distâncias, conforme a direção e velocidade do vento, afetando pessoas que estão distantes da ocorrência. Devido à baixa imunidade, idosos, crianças e grávidas são os mais afetados pela exposição ao material particulado que pode reduzir a capacidade pulmonar e elevar os riscos de doenças respiratórias.

Apesar dos danos já citados, é preciso realizar um estudo mais detalhado e abrangente em relação ao material particulado. Os problemas causados à saúde humana não se limitam apenas aos combatentes dos incêndios florestais, mas sim a população de forma geral, devido o deslocamento das pequenas partículas.

A partir dos resultados encontrados, é notável a importância da utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's), tais como capacetes com viseiras, luvas, botas de borracha, calças, vestimentas com películas retardantes de chamas e máscara de proteção respiratória. Mesmo que os incêndios florestais tendam a ocorrer em locais de difícil acesso e a dificuldade de locomoção, o peso dos equipamentos e o esforço físico e mental exigido por parte dos combatentes, em hipótese alguma se deve combater os incêndios sem os equipamentos de proteção individual.

O estudo realizado permitiu verificar o impacto que os incêndios florestais podem causar na qualidade do ar e, conseqüentemente, na saúde dos combatentes e da população em geral. Entretanto, para melhorar os resultados encontrados deve-se analisar os malefícios que são causados para a população em geral, considerando que os gases são transportados por longas distâncias através do vento.

4 CONCLUSÕES

A hipótese não foi atendida, tendo em vista que a combustão da biomassa de pastagem apresentou-se como a principal emissora de monóxido de carbono e amônia para a atmosfera. A biomassa de Eucalipto destacou-se na emissão de dióxido de carbono.



Os materiais particulados emitidos pelos tratamentos do presente estudo apresentaram tamanhos superiores aos indicados como inaláveis pelos seres humanos.

Em relação aos danos à saúde humana, conclui-se que a queima da biomassa de pastagem e de eucalipto são as mais nocivas.

Os resultados elucidaram a importância da utilização dos EPI's por parte dos combatentes e todos os envolvidos de maneira direta com os incêndios florestais.

Indica-se, aos próximos autores, a análise acerca da influência desses gases à distâncias maiores do local de ocorrência para determinar os danos advindos dessa queima em grande escala à população não envolvida no combate.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Código de Financiamento 001, b) Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e c) Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

AL-ARAIHAH, O.; JARADAT, M. A. K.; BATAYNEH, W. Using a fuzzy Poka-Yoke based controller to restrain emissions in naturally ventilated environments. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 4787 – 4795, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.037>

ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. do N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 30, n. 2, p. 158-175, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132004000200015>

ASÍN, A. **Monitoring indoor air quality with Wasp mote to prevent accidents and improve production processes**. 2010. Disponível em: http://www.libelium.com/industrial_processes_wsn_air_quality_monitoring. Acesso em: 10 de julho de 2019.

BONINO, S. Carbon Dioxide Detection and Indoor Air Quality Control. **Occupational Health & Safety**, p. 2, 2016. Disponível em: <https://ohsonline.com/Articles/2016/04/01/Carbon-Dioxide-Detection-and-Indoor-Air-Quality-Control.aspx?Page=2>. Acesso em 17 de out. 2020.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, p. 58-71, 2001. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71>



CANZIAN, W. P.; FIEDLER, N. C.; BRINATE, I. B.; JUVANHOL, R. S.; BIGHI, K. N. Diferentes concentrações de retardante de fogo em plantios de eucalipto. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 4, p. 195 - 198, 2016. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n04a02>

CANZIAN, W. P.; FIEDLER, N. C.; LOUREIRO, E. B.; BERUDE, L. C. Eficiência do uso da água em métodos de combate a incêndios em florestas plantadas. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 3, p. 309-312, 2018. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i3.4778>

CARMO, F. C. A.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. **Efeito de gases emitidos por máquinas e veículos na saúde dos trabalhadores**. In: FIEDLER, N. C.; LOUSADA, J. L. P. C.; CARMO, F. C. A. Emissão de gases e sequestro de carbono em sistemas florestais. 1 ed. Alegre, p. 82-109, 2016.

CASTRO, J. R. M.; BRANCO, D. L.; BALBO, V. R.; OLIVEIRA, M. F.; ANDRADE, J. F. Determinação de amônia no ar utilizando um sensor piezelétrico de quartzo. **Ecl. Quím.**, São Paulo, v. 36, p. 21-49, 2011 <http://dx.doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v36.2.2011.p21-49>

CAVALCANTE, K. L. A importância da prevenção, controle e combate aos incêndios florestais na preservação do meio ambiente. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 32346-32354, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-304>

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I.; PEREIRA, V. B. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Agro@ambiente Online**, v. 7, n. 1, p. 95 - 111, 2013. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i1.971>

FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Amônia (NH₃) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. **Quim. Nova**, v. 27, n. 1, p. 123-130, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000100022>

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons**. **Ciênc. agrotec.**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FIEDLER, N. C.; LACERDA, G. R.; RAMALHO, A. H. C.; BERUDE, L. C. NEVES, F. P.; RODRIGUES, C. K. Firefighting combat with fire retardants at different concentrations. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 50, n. 1, p. 1107-1112, 2020. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v50i1.61609>

FIEDLER, N. C.; MERLO, D. A.; MEDEIROS, M. B.. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. **Ciência Florestal**, v. 16, p. 153-162, 2006.

GOBBO, S. D. A. A.; GARCIA, R. F.; AMARAL, A.; EUGENIO, F.; ALVAREZ, C.; LUPPI, A. Uso da terra no entorno do PARNA-Caparaó: preocupação com incêndios florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 350-361, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.110114>

GONÇALVES, K. S.; CASTRO, H. A.; HACON, S. S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1523 - 1532, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232012000600016>

INCAPER – Instituto de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Programa de Assistência Técnica e **Extensão Rural 2011 – 2013**. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Caparao/Jeronimo_Monteiro.pdf. Acessado em 12 de jan. 2020.



KÖPPEN, G. W.; GEIGER, M. R. **Handbuch der klimatologie**. Berlin, 44p. 1936.

MAGALHÃES, S. R. de; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A. Avaliação do Combate aos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p.80-86, 2011. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.025>

NSW-EPA - New South Wales Environment Protection Authority. **Methane**. Disponível em: <https://www.epa.nsw.gov.au/~media/EPA/Corporate%20Site/resources/epa/2564-methane-fact-sheet.ashx>. Acesso em 17 de out. 2020.

PAIXÃO, L. C.; CATTANIO, J. H.; KUHN, P. Análise do transporte das emissões de monóxido de carbono (co) no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 280-299, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60156>

REINHARDT, T.; BLACK, J. & OTTMAR, R.D. **Smoke exposure at Northern California vegetation fires**. Seattle, WA., USDA Forest Service, Pacific Northwest research station, 1995.

SANTOS, A. M. A. **Norma de Higiene Ocupacional NHO-03: análise gravimétrica de aerodispersóides coletados sobre filtros de membrana**. São Paulo: Fundacentro, 2001.

SIMONTON, S.; SPEARS, M. Human Health Effects from Exposure to Low-Level Concentrations of Hydrogen Sulfide. **Occupational Health & Safety**, p. 1, 2007. Disponível em: <https://ohsonline.com/Articles/2007/10/Human-Health-Effects-from-Exposure-to-LowLevel-Concentrations-of-Hydrogen-Sulfide.aspx?Page=1>. Acesso em 17 de out. 2020.

SOUZA, C. L.; SCHETTINO, S.; SILVA, D. D.; GUIMARÃES, N. V. Balanço de Carbono do processo de produção de madeira de reflorestamento no Norte de Minas Gerais. **Cad. Ciênc. Agrá.**, v. 11, p. 01-08, 2019.

THE FERTILIZER INSTITUTE. **Health effects of ammonia**. Disponível em: <https://www.tfi.org/sites/default/files/documents/HealthAmmoniaFINAL.pdf>. Acesso em 17 de out. 2020.

TORRES, F. T. P.; ROQUE, M. P. B.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. V.; FARIA, A. L. L. Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, n. 24, p. 1-10, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.025615>

UCHOA, N. M.; LUSTOSA, R. P.; UCHOA, F. N. M. Relação entre mudanças climáticas e saúde humana. **Revinter**, v. 12, n. 1, p. 11 - 18, 2019. <http://dx.doi.org/10.22280/revintervol12ed1.400>

WISCONSIN DEPARTMENT OF HEALTH SERVICES. **Carbon Dioxide**. 2019. Disponível em: <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/carbondioxide.htm>. Acesso em 17 de out. 2020.



Contribuição de Autoria

1 Nilton Cesar Fiedler

Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Florestais

<https://orcid.org/0000-0002-3895-661X> • niltoncesarfiedler@yahoo.com.br

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Administração do projeto; Disponibilização de ferramentas; Supervisão; Escrita – revisão e edição

2 Antonio Henrique Cordeiro Ramalho

Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Florestais

<https://orcid.org/0000-0002-0037-5422> • henriquecr2012@hotmail.com

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Supervisão; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

3 Ruan Specimille Falcão

Engenheiro Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-3053-9862> • ruan.specimille@hotmail.com

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Recebimento de financiamento; Pesquisa; Metodologia; Validação de dados e experimentos

4 Rayane Aparecida Silva Menezes

Engenheira Florestal, Mestre em Ciências Florestais

<https://orcid.org/0000-0001-8646-2430> • rayane_ap_menezes@hotmail.com

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Escrita – revisão e edição

5 Leonardo Duarte Biazatti

Engenheiro Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-9345-8592> • leo-biazatti@live.com

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

FIEDLER, N. C.; RAMALHO, A. H. C.; FALCÃO, R. S.; MENEZES, R. A. S.; BIAZATTI, L. D. Emissão de gases tóxicos em incêndios florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 3, e62965, p. 1-18, 2023. DOI 10.5902/1980509862965. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509862965>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.