

AEROSSÓIS DE QUEIMADAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA E IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA

VALDIR SOARES DE ANDRADE
PAULO ARTAXO
SANDRA HACON
CLEBER NASCIMENTO DO CARMO

INTRODUÇÃO

A região amazônica tem vivenciado significativas mudanças no padrão de uso do solo, principalmente a partir da década de 1970, devido ao intenso processo de ocupação humana. Entre as principais atividades humanas, destacam-se o desmatamento e as queimadas em larga escala de áreas de florestas (Fearnside, 2006). Estas alterações no uso do solo são responsáveis por emissões significativas de partículas de aerossóis para a atmosfera que, por meio das queimadas, exercem uma série de efeitos diretos e indiretos no clima e no funcionamento do ecossistema amazônico (Artaxo *et al.*, 2006), bem como na saúde das populações (Ignotti *et al.*, 2007; Rosa *et al.*, 2008; Carmo *et al.*, 2010).

A composição química da atmosfera amazônica sofre grandes mudanças na época de seca, devido às emissões de gases traço e partículas de aerossóis provenientes de queimadas de pastagens e florestas, causando importantes implicações em nível local, regional e global (Artaxo *et al.*, 2002). As queimadas constituem uma das principais fontes globais de vários gases de efeito estufa como CO₂ (dióxido de carbono), N₂O (óxido nitroso), CH₄ (metano) e outros gases (Andreae e Crutzen, 1990; Artaxo *et al.*, 2006).

Diferentemente do que é observado em ambientes urbanos, em que a poluição atmosférica é caracterizada por uma exposição crônica, as queimadas na Amazônia representam uma exposição de elevada magnitude por um período médio anual de 3 a 5 meses (Carmo *et al.*, 2010). As condições atmosféricas consideradas limpas durante a estação chuvosa na Amazônia alteram-se fortemente durante a estação seca. Extensas áreas de plumas de queimadas são comuns durante os meses de agosto, setembro e outubro

na região (Andreae *et al.*, 2002; Artaxo *et al.*, 2005; 2006), evidenciando o transporte de poluentes que podem alcançar outros Estados e países da Bacia Amazônica.

Além dos efeitos das queimadas para o ecossistema amazônico, conforme estudos realizados, as emissões de material particulado têm contribuído diretamente para o aumento da morbidade respiratória nos municípios do chamado arco do desmatamento na região da Amazônia brasileira (Mascarenhas *et al.*, 2008; Rosa *et al.*, 2009; Castro *et al.*, 2009; Carmo *et al.*, 2010), região que abrange desde o sudeste do Maranhão, incluindo o norte do Tocantins, o sul do Pará, o norte do Mato Grosso, o Estado de Rondônia, o sul do Amazonas, até o sudeste do Acre.

Este texto é um ensaio teórico, baseado na dissertação de mestrado *Estudo da associação entre material particulado emitido em queimadas e doenças respiratórias no município de Manaus, AM*, apresentada no dia 16 de maio de 2011, ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pelo Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente.

AEROSSÓIS NA ATMOSFERA: BREVES CARACTERÍSTICAS E FONTES

O termo “aerossol” se refere ao sistema constituído de partículas, líquidas e/ou sólidas em suspensão em um gás (Seinfeld e Pandis, 1998). As partículas de aerossóis são observadas na natureza com dimensões que variam desde alguns nanômetros (como aglomerados moleculares) até algumas centenas de microns (partículas de poeira do solo ou grãos de pólen).

As dimensões destas partículas são referidas por meio de seu diâmetro (representado por D_p), ou diâmetro aerodinâmico. As partículas de aerossóis podem ser divididas em dois grupos, referentes ao seu tamanho: particulados com diâmetro maior que $2,5\mu\text{m}$, denominados particulados da moda grossa ($10\mu\text{m} > d_p > 2,5\mu\text{m}$) e aqueles com diâmetros menores de $2,5\mu\text{m}$, chamados de particulados da moda fina ($d_p < 2,5\mu\text{m}$). As partículas finas podem ainda ser subdivididas em faixa de acumulação (cujos diâmetros variam de $\sim 0,08$ a $1-2\mu\text{m}$) e em faixa de núcleos de Aitken ($0,01$ a $0,08\mu\text{m}$) (Seinfeld e Pandis, 1998). As partículas chamadas inaláveis são consideradas as que podem ser depositadas no trato respiratório humano e

O tempo de residência das partículas na atmosfera é considerado curto, variando de alguns dias e, em alguns casos, de horas, dependendo das condições ambientais e das características da partícula. Sua remoção da atmosfera está relacionada a processos denominados deposição seca e úmida. A deposição seca pode ocorrer tanto por sedimentação gravitacional (eficiente para partículas da moda grossa) quanto por processos turbulentos que depositam as partículas para a superfície (mecanismo predominante na fração fina). A deposição úmida ocorre pela incorporação de aerossóis por gotículas de nuvens e pela remoção de partículas por meio da interceptação pela precipitação (Seinfeld e Pandis, 1998).

AS PARTÍCULAS DE AEROSSÓIS NA AMAZÔNIA

As partículas de aerossóis presentes na atmosfera da Bacia Amazônica são resultado da combinação de emissões biogênicas naturais da floresta, de emissões de queimadas e partículas de poeira do solo (suspensas pela ação do vento na superfície) originadas na bacia e em outros ecossistemas, como o deserto do Saara e partículas provenientes do oceano Atlântico (Yamasoe, 1999; Pauliqueves, 2005; Arana, 2009).

A intensidade com que cada uma dessas fontes atua na formação de partículas varia espacial e temporalmente, devido à heterogeneidade geográfica e sazonal dos processos associados a cada fonte. Em regiões de maior influência das atividades antrópicas, a quantidade de particulados altera-se fortemente, em especial no período de seca e com o início das queimadas. Em áreas mais remotas fora da região do arco do desmatamento, com pouca interferência de atividades humanas e longe do principal caminho de transporte, as emissões naturais da floresta prevalecem (Pauliqueves, 2005; Longo *et al.*, 2009).

Em condições naturais, as partículas de aerossóis na Amazônia são constituídas predominantemente por partículas de origem biogênica, tais como grãos de pólen, detritos vegetais, fragmento de fungos e esporos, entre outras partículas emitidas pela floresta (Graham *et al.*, 2003). Durante a estação chuvosa, quando predominam as emissões naturais, a concentração de massa de partículas menores que 10 microns (PM_{10}), na moda grossa é da ordem de 8 a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com concentração em termos de número da ordem

de 200 – 300 partículas cm^{-3} , sendo que aproximadamente 80% da carga de particulados total da atmosfera na região corresponde à moda grossa (Martin *et al.*, 2010). Estas concentrações são consideradas baixas, mesmo comparadas a regiões oceânicas remotas.

As condições atmosféricas consideradas limpas durante a estação chuvosa na Amazônia alteram-se fortemente durante a estação seca, com as emissões em larga escala advindas da queima de biomassa (Andreae *et al.*, 2002). Em regiões severamente afetadas pela queima de biomassa, a concentração em massa sobe para cerca de 300 – 600 $\mu\text{g m}^{-3}$, ao passo que o número de partículas sobe para 15 mil – 30 mil partículas cm^{-3} , sendo que a moda fina passa a predominar fortemente sobre a moda grossa (Artaxo *et al.*, 2006; 2009).

A floresta amazônica, pela sua localização tropical e seu intenso metabolismo, é uma importante fonte natural de gases traço, vapor de água e partículas de aerossóis para a atmosfera global. A ampla disponibilidade de radiação solar e a grande quantidade de vapor de água na atmosfera são características que favorecem uma alta reatividade química atmosférica na região tropical (Andreae e Crutzen, 1997). Entretanto, deve-se destacar que a maior fonte de aerossóis para a atmosfera na América do Sul são as emissões por queimadas de florestas e cerrados, que ocorrem principalmente na estação seca na região amazônica, sobretudo de origem antrópica. Áreas de plumas de queimadas de 5 a 8 milhões de km^2 são comuns durante a estação seca na região, com espessura óptica regularmente excedendo 1,0, que representa um valor bastante elevado e indica a alta carga de aerossóis na região em decorrência das queimadas (Artaxo *et al.*, 2006; 2010).

Estimativas de emissões de aerossóis em regiões de florestas tropicais úmidas, pela queima de florestas primárias e de manutenção de pastagens, indicam variações entre 6 a 25 g kg^{-1} para material particulado total e entre 7.5 a 15 g kg^{-1} para $\text{PM}_{2,5}$, expressas como massa de partículas de emissões primárias por unidade de massa de combustível seco (Yokelson *et al.*, 2008). As regiões do planeta que mais queimam biomassa estão concentradas principalmente nos países em desenvolvimento, localizados nos trópicos e subtropicais da África, sudeste da Ásia e América do Sul (Andreae e Crutzen, 1990; Chand *et al.*, 2006). Para a Amazônia, as estimativas para emissões totais de $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} são de 8 e 10 Teragrama/ano, respectivamente (Yokelson *et al.*, 2008).

Para a Amazônia, o processo de queimada da floresta apresenta uma dinâmica complexa, dependendo das condições e propriedades do combustível, da umidade da madeira e outros parâmetros. O processo pode ser dividido em duas fases. A primeira, *flaming*, é caracterizada por uma combustão bastante eficiente, apresentando temperaturas elevadas e chamas intensas. A segunda fase, denominada *smoldering*, ocorre quando a eficiência de combustão cai bruscamente, apresentando ausência de chamas e temperaturas mais baixas, resultando em altas taxas de emissão de material particulado, monóxido de carbono (CO) e outros produtos de combustão incompleta (Guyon *et al.*, 2005; Rizzo, 2006).

QUEIMADAS NA AMAZÔNIA: IMPACTOS NO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA

No Brasil, a queima de biomassa vegetal constitui uma prática de manejo utilizada em diferentes culturas, na criação e na manutenção de pastos para criação de gado e como forma de preparo do solo para atividades agrícolas (Piromal *et al.*, 2008). Quase sempre está associada ao desmatamento, pois é quando, após o desmate, agricultores e fazendeiros queimam suas terras para converter as florestas em áreas de lavouras ou pastagens. As regiões mais afetadas por emissões de queimadas são concentradas ao longo da região do arco do desmatamento, acompanhando também áreas de influência das rodovias, mas o alcance das plumas destas emissões pode alcançar a bacia amazônica em quase toda sua extensão (Fearnside, 2006; Soares-Filho *et al.*, 2005).

A ocorrência de queimadas traz inúmeros impactos ambientais, como o empobrecimento do solo, a perda da biodiversidade de flora e fauna e efeitos no clima em diferentes escalas. As partículas de aerossóis atmosféricos, de origem natural ou antrópica, são encontradas em todas as regiões do globo terrestre e interagem ativamente no funcionamento do clima global e local e no ciclo hidrológico, atuando fortemente no balanço radiativo da atmosfera, na formação de nuvens, na ciclagem de nutrientes dos ecossistemas, na química da atmosfera e na visibilidade (Pauliquevis, 2005; Artaxo *et al.*, 2006; 2009).

Devido ao seu relativo curto tempo de residência na atmosfera e ao fato de sua significativa variabilidade espacial e temporal, torna-se difícil estimar quantitativamente sua influência no clima e no balanço energético global,

o que leva muitas vezes à dificuldade de representação do importante papel dos aerossóis nos modelos climáticos globais (Artaxo *et al.*, 2006).

As emissões de queimadas afetam a saúde das pessoas expostas às altas concentrações de particulados (Arbex *et al.*, 2004). As partículas finas têm um tempo de residência na atmosfera maior do que as partículas grossas e podem ser transportadas para grandes distâncias, de acordo com o padrão de circulação atmosférica (Artaxo *et al.*, 2006), o que aumenta sua capacidade de dispersão e, conseqüentemente, o seu impacto sobre os indivíduos. Conforme já destacado, a composição química da atmosfera na bacia amazônica sofre significativas mudanças na época da seca, devido às emissões de gases traço e partículas de aerossóis provenientes de queimadas de pastagens e florestas, gerando importantes implicações em nível local, regional e global. As queimadas também contribuem significativamente nas emissões e nos fluxos de gases de efeito estufa como o CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), compostos orgânicos voláteis (VOCs) e dezenas de outros gases (Nobre e Nobre, 2002; Artaxo *et al.*, 2006; 2010).

Os registros de ocorrência de queimadas, a modelagem climática e a análise estatística dessas são ferramentas essenciais para se definir estratégias de combate a incêndios e para a projeção de impactos no ambiente e na sociedade, assim como contribuem para a elaboração de diretrizes legais e ações eficazes de prevenção. A disponibilidade de informações detalhadas e atualizadas sobre localização e extensão das áreas de queimadas é muito importante para avaliar perdas econômicas e efeitos ecológicos; monitorar mudanças no uso e cobertura da terra; elaborar modelos atmosféricos e de impactos climáticos devidos às emissões de particulados de queimadas. O sensoriamento remoto tem representando uma ferramenta importante para obter essas informações, principalmente em extensas áreas afetadas pelo fogo (Piromal *et al.*, 2008). A Figura 2 mostra mapas anuais de focos de queimadas em todo o Brasil, detectados pelos satélites NOAA-12 e NOAA-15, nos anos de 2001 a 2010. Nota-se, para a Amazônia, forte acúmulo de focos de calor ao longo da região do arco do desmatamento.

Os potenciais efeitos das queimadas à saúde das populações têm sido pouco estudados pela comunidade científica, tanto no Brasil quanto no exterior. Tal fato se deve em grande parte à variedade de aspectos envolvidos e à dificuldade em separar conseqüências de vários efeitos múltiplos, além da necessidade de infraestrutura local, deficiência dos serviços de saúde e em re-

lação ao monitoramento de indicadores de exposição ambiental. Pesquisas em saúde ambiental são consideradas complexas à medida que a saúde humana depende de vários fatores intrínsecos, tais como: exógenos (bióticos e abióticos), endógenos (fisiológicos e anatômicos), comportamentais (psicológicos e culturais) e características demográficas (Ribeiro e Assunção, 2002).

Deste modo, estudar os impactos da queima de biomassa sobre a saúde humana requer avaliar os efeitos deletérios em diferentes níveis de complexidade, como os atendimentos ambulatoriais, as internações hospitalares, visitas à emergência hospitalar e a mortalidade associada. A associação entre exposição a poluentes atmosféricos e reflexos nos níveis de complexidade de atenção à saúde tem sido investigada, de forma mais sistemática, apenas a partir da década de 1990 (Arbex *et al.*, 2004).

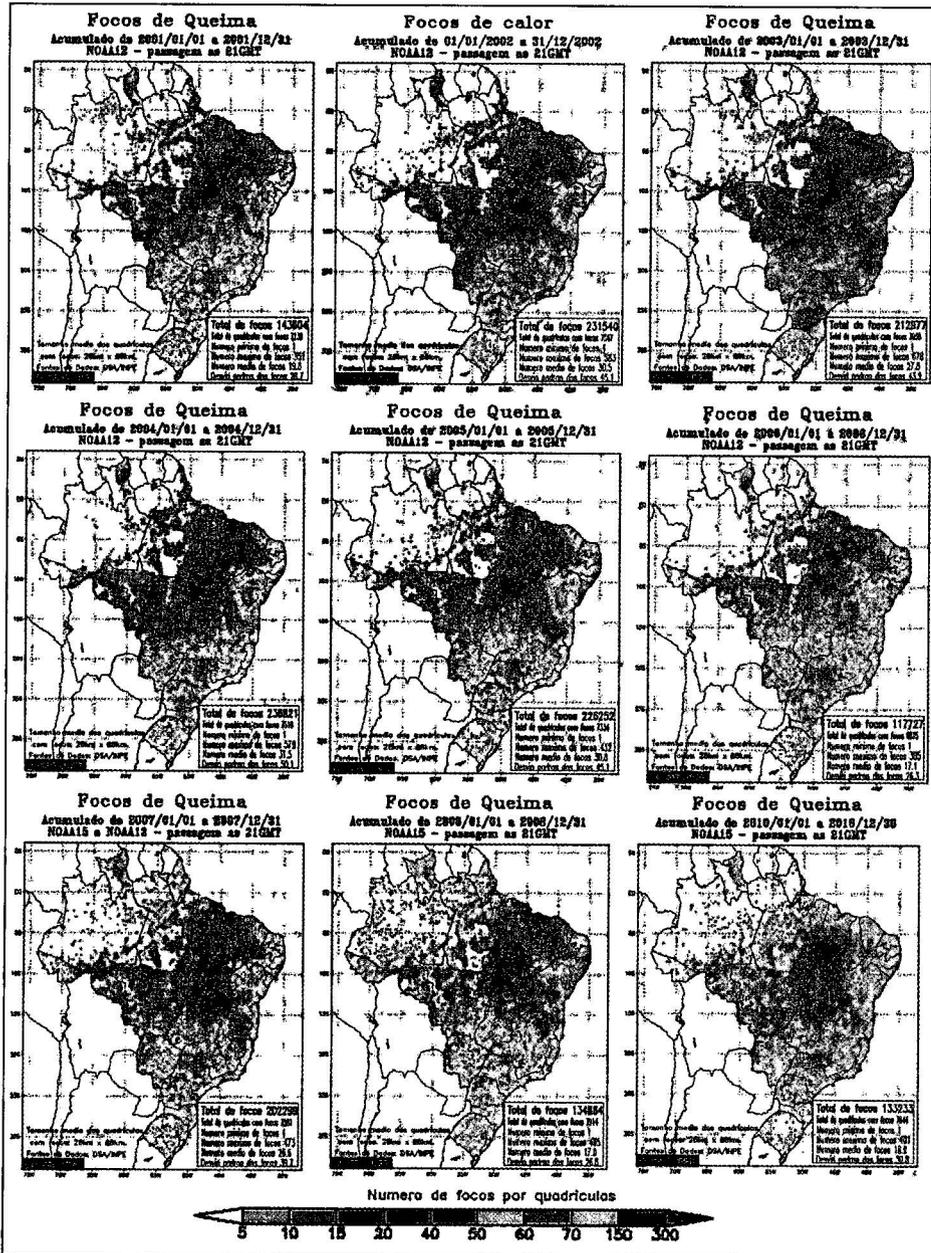
Alguns estudos brasileiros apontam efeitos significativos da exposição a aerossóis de queimadas nas funções cardiorrespiratórias, na Amazônia brasileira.

Mascarenhas *et al.* (2008) avaliaram o impacto das partículas de queimada na moda fina ($PM_{2,5}$) sobre os atendimentos diários de emergência por doenças respiratórias, em Rio Branco (AC), no mês de setembro de 2005. Observou-se maior incidência de doenças respiratórias em crianças menores de 9 anos e correlação positiva entre a concentração de $PM_{2,5}$ e atendimentos por asma.

Rosa *et al.* (2008) analisaram as internações hospitalares por doenças respiratórias em pacientes menores de 15 anos de idade, no município de Tangará da Serra (MT), no período de 2000 a 2005. Observou-se que as taxas de internação por doenças respiratórias nos indivíduos estudados foram de 70,1/1.000 crianças e que no período de seca (maio a outubro) houve um aumento de mais de 10% nas internações em comparação com o período de chuvas (novembro a abril).

Castro *et al.* (2009) avaliaram a tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e sua correlação com o número de focos de queimadas no Estado de Rondônia, no período de 1998 a 2005. As análises apontaram uma tendência de crescimento nas taxas de mortalidade por Doenças do Aparelho Respiratório (DAR) e Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), entre indivíduos acima de 65 anos, e também uma tendência de crescimento no número de focos de calor. Observou-se uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre os números de focos de queimadas e as taxas de mortalidade estudadas.

Figura 2 – Focos de calor acumulado anuais para o Brasil, no período de 2001 a 2010



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 2011.

Ignotti *et al.* (2010) analisaram o efeito da variação diária nas concentrações de $PM_{2,5}$ da queima de biomassa sobre o número diário das internações hospitalares de crianças (menores de 5 anos) e idosos (maiores de 64 anos), nos municípios de Alta Floresta e Tangará da Serra, Mato Grosso, no ano de 2005. Observou-se que as emissões de $PM_{2,5}$ pela queima de biomassa aumentaram as hospitalizações por doenças respiratórias em crianças e idosos em Alta Floresta.

Carmo *et al.* (2010) investigaram os efeitos de curto prazo da exposição de partículas de queimadas na Amazônia na demanda diária de atendimento ambulatorial por doenças respiratórias de crianças e idosos, no município de Alta Floresta, no Mato Grosso, no período de janeiro de 2004 a dezembro de 2005. As análises apontaram que um incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de exposição ao material particulado esteve associado a aumentos de 2,9% e 2,6% nos atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias de crianças no 6º e 7º dias subsequentes à exposição. Quanto aos idosos, não foram encontradas relações significativas nos atendimentos em associação com os índices de material particulado.

Vários outros estudos dos efeitos de poluentes atmosféricos na saúde em áreas urbanas brasileiras também foram realizados, tais como o de Saldiva *et al.* (1996), realizado na cidade de São Paulo; ou o de Arbex *et al.* (2007), que analisaram o efeito das emissões de queimadas nas internações hospitalares em municípios no Estado de São Paulo afetados por emissões de queimadas de cana de açúcar; Cançado *et al.* (2006), analisaram os efeitos de emissões de queimadas de cana nas funções respiratórias em idosos e constataram efeitos bastante significativos em termos de redução da função pulmonar.

Em geral os resultados destes estudos nacionais são compatíveis com grandes estudos internacionais (Pope *et al.*, 1995; 2002). Alguns estudos estão agora focando não somente em partículas finas, mas partículas ultrafinas (Ibaldi-Mulli *et al.*, 2002), que são aquelas menores que um micron de tamanho, e que tem acesso facilitado aos alvéolos pulmonares.

EMISSÕES DE QUEIMADAS, POLUIÇÃO DO AR E SAÚDE PÚBLICA

Poluição atmosférica se refere a todos os contaminantes do ambiente ao ar livre e fechado, que incluem partículas e gases, potencialmente tóxi-

cos quando inalados por pessoas ou animais, afetando o ambiente de forma geral, ao modificarem a atmosfera da terra. É causada por processos físicos, químicos e dinâmicos que conduzem à emissão de gases e partículas por certas fontes de combustão e sua acumulação na atmosfera (Lave e Seskin, 1970; Duchicade, 1992; Gomes, 2002).

A combustão é um processo químico pelo qual um material reage rapidamente com o oxigênio do ar, produzindo luz e calor intenso, de origem natural ou antrópica. Todo processo de combustão gera fumaças, fuligens, cinzas voláteis, entre outras partículas. Podem-se enquadrar diversos processos de combustão, tais como termoelétricas, fornos, fogões caseiros, veículos automotores, descargas atmosféricas industriais, incêndios e queimadas. No caso da queima de biomassa, distinguem-se três fases no processo: ignição (*ignition*), combustão com chama (*flaming*) e combustão com ausência de chamas (*smoldering*) (Lenzi e Favero, 2009). A tabela 1 apresenta uma breve descrição dos principais poluentes proveniente da queima de biomassa.

Conforme a Organização Mundial de Saúde (World Health Organization – WHO), a poluição atmosférica é considerada um preocupante problema de saúde pública, afetando populações de todo o mundo. Estima-se que mais de dois milhões de mortes prematuras a cada ano possam ser atribuídas aos efeitos da poluição atmosférica urbana, das poluições ao ar livre (reconhecidamente, *outdoor*) e em ambientes fechados (*indoor*). Estima-se também que mais da metade da população afetada seja em países em desenvolvimento (WHO, 2005).

Tabela 1 – Principais poluentes provenientes da queima de biomassa

Emissões	Exemplos	Fonte
Partículas	Partículas inaláveis (PM ₁₀)	Condensação após combustão de gases; combustão incompleta de material inorgânico; fragmentos de vegetação e cinzas
	Partículas finas (PM _{2,5})	Condensação por combustão de gases; combustão incompleta de material orgânico
Aldeídos	Acroleína	Combustão incompleta de material orgânico
	Formaldeído	Combustão incompleta de material orgânico
Gases principais	Monóxido de carbono (CO)	Combustão incompleta de material orgânico
	Ozônio (O ₃)	Produto secundário de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos
	Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	Oxidação em altas temperaturas do nitrogênio do ar
Hidrocarbonetos	Metano, Benzeno	Combustão incompleta de material orgânico

Fonte: Adaptado de Arbex *et al.* (2004).

Estudos epidemiológicos têm evidenciado, em diferentes regiões do globo, um aumento consistente de internações hospitalares e de mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, relacionadas à exposição de poluentes presentes na atmosfera, principalmente nos grupos mais suscetíveis que incluem as crianças e idosos, mesmo quando em níveis considerados seguros pela legislação ambiental (Schwartz e Dockery, 1992; Pope *et al.*, 1995; 2002; Ostro *et al.*, 1999; Hajat *et al.*, 2001; Bell *et al.*, 2006).

A tabela 2 mostra os padrões de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial de Saúde e pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) n. 003 de 28 de junho de 1990. Nesta tabela são apresentados os padrões primários e secundários de qualidade do ar, os quais representam as médias recomendadas para cada poluente em curto prazo (horas) e longo prazo (anual), respectivamente. Existem diferenças significativas entre os padrões, devendo-se considerar a recomendação da OMS a mais adequada para estudos de saúde ambiental.

Tabela 2 – Padrões de qualidade do ar para os principais poluentes atmosféricos, recomendados pela Organização Mundial de Saúde e pela Resolução Conama n. 003 de 28 de junho de 1990.

Organização Mundial de Saúde (OMS) – 2005		
Material particulado	50 µg/m ³ (média para 24h)	20 µg/m ³ (média anual)
	25 µg/m ³ (média para 24h)	10 µg/m ³ (média anual)
Ozônio	100 µg/m ³ (média para 8h)	
Dióxido de nitrogênio	200 µg/m ³ (média para 1h)	40 µg/m ³ (média anual)
Dióxido de enxofre	500 µg/m ³ (média para 10 minutos)	20 µg/m ³ (média para 24h)
Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) – 1990		
Material particulado	240 µg/m ³ (média para 24h)	80 µg/m ³ (média anual)
	150 µg/m ³ (média para 24h)	50 µg/m ³ (média anual)
Ozônio	160 µg/m ³ (média para 1h)	
Dióxido de nitrogênio	320 µg/m ³ (média para 1h)	100 µg/m ³ (média anual)
Dióxido de enxofre	365 µg/m ³ (média para 24h)	80 µg/m ³ (média anual)

Fonte: Adaptado de WHO, (2005) e Conama (1990).

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde é de caráter adverso, apresentando reflexos sobre o aparelho respiratório, cardiovascular, digestivo, sobre a pele e os olhos (Gomes, 2002; Gonçalves, 2010). A tabela 3 apresenta alguns efeitos patogênicos dos poluentes sobre a saúde humana. A forma de exposição humana aos poluentes é comumente dividida em crôni-

ca ou aguda. Exposição crônica é quando ocorre repetidamente durante um longo período de tempo até vários anos. Exposição aguda é a exposição a elevados níveis de poluentes que ocorre em um curto período de tempo, de horas a alguns dias (Arbex *et al.*, 2004; Cançado *et al.*, 2006).

A inalação de poluentes atmosféricos produz diversos efeitos biológicos. A sua inalação, deposição e *uptake* podem afetar o aparelho respiratório e ainda serem absorvidos pela circulação sistêmica, atingindo outros órgãos (Gomes, 2002). O aparelho respiratório humano consiste em um eficaz sistema de trocas gasosas e termorregulação. Logo, depois de passar pelas fossas nasais, o ar externo atravessa a laringe e percorre a traqueia, antes de chegar aos pulmões. Neste percurso, entre as fossas nasais e a traqueia, o ar inspirado acaba passando por grandes transformações, sendo umidificado, aquecido e depositado nas vias aéreas superiores, de modo que as partículas sólidas de grande tamanho possam ser eliminadas. Modificado pelos processos destacados, o ar alcança a traqueia e a percorre até dividir-se pelos brônquios principais, direito e esquerdo, antes da introdução nos pulmões. Uma vez inaladas, o destino das partículas depende do seu comportamento aerodinâmico, tais como dimensão, forma e composição química (Arbex *et al.*, 2004; Cançado *et al.*, 2006).

Tabela 3 – Efeitos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde

Poluentes	Efeitos potenciais sobre a saúde
Material particulado	Irritação, inflamação e aumento da reatividade brônquica; sibilos, exacerbação de crises de asma brônquica; Infecções respiratórias; DPOC; exacerbação de DPOC; agrava a resposta a outros poluentes tóxicos.
Monóxido de carbono	Produção de carboxihemoglobina e conseqüente diminuição da capacidade do sangue de transportar oxigênio; hipóxia tecidual; atinge o desenvolvimento de fetos.
Dióxido de nitrogênio	Irritação, inflamação e aumento da reatividade brônquica; edema pulmonar e fibrose; aumenta a susceptibilidade a infecções respiratórias bacterianas e virais; diminuição da capacidade pulmonar em crianças.
Dióxido de enxofre	Aumenta a reatividade brônquica; sibilos e exacerbação de asma brônquica; exacerbação de DPOC; aumenta a susceptibilidade a infecções.
Ozônio	Irritação, inflamação, dificuldade respiratória e fibrose.
Efeitos adversos dos poluentes atmosféricos na saúde	
<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da mortalidade; - Aumento da incidência de câncer de pulmão; - Exacerbação de asma mais frequente; - Infecções respiratórias mais frequentes; - Aumento das exacerbações de bronquite crônica e doenças cardiovasculares. 	

Fonte: Adaptado de Arbex *et al.*, (2004); Gomes (2002).

As partículas inaladas podem ter dimensões entre 100 e 0,01 μm e podem se depositar nas vias aéreas superiores e inferiores. As partículas com dimensões superiores a 10 μm não atingem o pulmão, sendo retirados nos sistemas de deposição do nariz e sistema respiratório superior. As partículas inferiores a 10 μm podem adentrar no sistema respiratório. Entre 2,5 e 10 μm , em geral, as partículas depositam-se essencialmente nos brônquios principais. As partículas ultrafinas (menores que 0,1 μm) podem atingir porções mais profundas do sistema respiratório, até atingir os alvéolos pulmonares (Gomes, 2002).

Quando depositadas no sistema respiratório, as partículas sofrem uma série de alterações de natureza biológica, física e química, envolvendo a dissolução nos líquidos orgânicos e, eventualmente, interagindo com a corrente sanguínea. O tempo de residência no organismo humano irá variar conforme o nível de deposição ao longo do sistema respiratório e sua absorção por outros processos da fisiologia humana, podendo ser eliminadas logo após a exposição, ou mais lentamente (Arbex *et al.*, 2004).

À medida que vão se depositando no trato respiratório, essas partículas passam a ser removidas pelos mecanismos de defesa, como o espirro ou a tosse. Entretanto, ao serem inaladas mais profundamente, podem contribuir para o desenvolvimento de doenças como sinusite aguda, pneumonia, faringite, amigdalite, entre outras de caráter agudo; enfisema, doenças progressivas obstrutivas crônicas (Dpoc), bronquite, asma, entre outras de caráter crônico (Cançado *et al.*, 2006).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante destacar a problemática das queimadas como um grave problema de saúde pública, em especial, no contexto da Amazônia brasileira. A complexidade em avaliar os efeitos de partículas emitidas em queimadas sobre a saúde humana, principalmente sobre as populações mais vulneráveis, é devido a uma série de fatores inter-relacionados de importância socioeconômica, clínica, epidemiológica e ambiental.

É necessária a realização de estudos mais amplos, envolvendo profissionais de diferentes áreas. Conhecer os efeitos das emissões de material particulado de queimadas sobre a saúde humana requer avaliar sua influência no comportamento da incidência de doenças e os possíveis fatores de risco,

possibilitando o estabelecimento de uma linha-base para identificação de tendências, com a realização de estudos analíticos dos efeitos das queimadas na saúde humana. Este conhecimento é importante para a definição de políticas de saúde pública de prevenção, de planejamento urbano e ambiental de qualquer município, bem como reforça a necessidade da política de monitoramento contínuo da qualidade do ar, com benefícios à qualidade de vida da população e embasamento de conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

- ANDREAE, O. M.; CRUTZEN, P. J. Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*, v. 276, p. 1.052-1.058, 1997.
- _____. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, v. 250, p. 1669-1678, 1990.
- _____. *et al.* Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA-Eustach experiments. *Journal of Geophysical Research- Atmosphere*, v. 107, n. D20, p. 33.1-33.25, 2002.
- ARANA, A. A. *A composição elementar do aerossol atmosférico em Manaus e Balbina*. Manaus: Programa de Pós-graduação Clima e Ambiente. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade do Estado do Amazonas, 2009,.
- ARBEX, M. A. *et al.* Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 30, n. 2, p. 158-175, 2004.
- _____. *et al.* Air pollution from biomass burning and asthma hospital admissions in a sugar cane plantation area in Brazil. *J Epidemiol Community Health*, v. 61, p. 395-400, 2007.
- ARTAXO, P. Reductions in deforestation rates in Amazonia. Estados Unidos, *Global Atmospheric Pollution Forum newsletter*, v. 8, p. 2-3, 1 abr. 2010.
- ARTAXO, P. *et al.* Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica*, v. 35, n. 2, p. 185-198, 2005.
- _____. Aerosol particles in Amazonia: their composition, role in the radiation balance, cloud formation and nutrient cycles, *in*: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. Amazonia and Global change. *American Geophysical Union, Geophysical Monograph*, n. 186, p. 235-254, 2009.
- _____. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazônia. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, n. D20, p. 8.081-8.805, 2002.

- _____. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, p. 1-22, 2006.
- BELL, M.L.; PENG, R.D; DOMINICI, F. The exposure–response curve for ozone and risk of mortality and the adequacy of current ozone regulations. *Environ Health Perspect*, v. 114, n. 4, p. 532-536, 2006.
- CANÇADO, J. E. D. *et al.* The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. *Environ Health Perspect*. v. 114, p. 725-729, 2006.
- CARMO, N. C. *et al.* Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. *Rev. Panam. Salud. Publica*, v. 27, n. 1, p. 10-16, 2010.
- CASTRO, H.; GONÇALVES, K.S.; HACON, S. S. Tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e as queimadas no Estado de Rondônia/ Brasil – período entre 1998 e 2005. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, n. 6, p. 2.083-2.090, 2009.
- CHAND, D. *et al.* Optical and physical properties of aerosols in the boundary layer and free troposphere over the Amazon Basin during the biomass burning season. *Atmos. Chem. Phys*, v. 6, p. 2.911-2.925, 2006.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução/Conama/n. 003 de 28 de junho de 1990. Publicada no D.O.U., de 22/08/90. Seção I. 15.937-15. .
- DUCHIADE, M. P. Poluição do ar e doenças respiratórias: uma revisão. *Cad. Saúde Pública*, v. 8, n. 3, p. 311-330, 1992.
- FEARNISIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica*, v. 36, n. 3, p. 365-400, 2006.
- GRAHAM, B.; GUYON, P; ARTAXO, P. *et al.* Composition and diurnal variability of the natural Amazonian aerosol. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, v. 108, n. D24, 2003.
- GONÇALVES, K. S. *Queimadas e atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias em crianças no município de Porto Velho, Rondônia.* (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, 2010,
- GOMES, M. J. M. Ambiente e pulmão. *Journal de Pneumologia*, v. 28, n. 5, p. 261-269, 2002.
- GUYON, P. *et al.* Airborne measurements of trace gas and aerosol particle emissions from biomass burning in Amazonia. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, v. 5, p. 2.791-2.831, 2005.

- HAJAT, S. *et al.* Association between air pollution and daily consultations with general practitioners for allergic rhinitis in London, United Kingdom. *Am J Epidemiol*, v. 153, n. 7, p. 704-714, 2001.
- IBALDI-MULLI, A. *et al.* Epidemiological evidence on health effects of ultrafine particles. *J Aerosol Med.*, v. 2, p. 189-201, 2002.
- IGNOTTI, E. *et al.* Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção dos municípios segundo indicadores de saúde. *Rev. Bras. Epidemiol*, v. 10, n. 4, p. 453-464, 2007.
- LAVE, L. B. e SESKIN, E. P. Air pollution and human health. *Science*, v. 169, n. 3.947, p. 723-733, 1970.
- LENZI, E. e FAVERO, L. O. B. *Introdução à química da atmosfera – Ciência, vida e sobrevivência.* LTC, 2009.
- LONGO, K. *et al.* Biomass burning in Amazonia: emissions, long-range transport of smoke and its regional and remote impacts, *in: Amazonia and Global Change*, KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. *American Geophysical Union, Geophysical Monograph*, v. 186, p. 209-234, 2009.
- MARTIN, S. T. *et al.* Sources and properties of amazonian aerosol particles. *Review of Geophysics*, v. 48, 2010. DOI: 10.1029/2008RG000280.
- MASCARENHAS, M. D. M. *et al.* Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil – Setembro, 2005. *J. Bras. Pneumol*, v. 34, n. 1, p. 42-46, 2008.
- NOBRE, C. A. e NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, v. 16, n. 45, p. 81-90, 2002.
- OSTRO, B. D.; ESKELAND, G. S.; SANCHEZ, J. M. Air pollution and health effects: a study of medical visits among children in Santiago, Chile. *Environ Health Perspect*, v. 107, n. 1, p. 69-73, 1999.
- PAULIQUEVIS, T. M. *Os efeitos de aerossóis emitidos por queimadas na formação de gotas de nuvens e na composição da precipitação na Amazônia.* (Tese de Doutorado). São Paulo: Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2005,
- PIROMAL, R.A.S. *et al.* Utilização de dados Modis para a detecção de queimadas na Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 1, p. 77-84, 2008.
- POPE C. A. III; BATES, D. V.; RAIZENNE, M. E. Health effects of particulate air pollution: time for reassessment? *Environ Health Perspect*, v. 103, p. 472-480, 1995.
- _____ *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*, v. 287, n. 9, p. 1.132-1.141, 2002.
- RIBEIRO, H. e ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados*, v. 16, n. 44, p. 125-148, 2002.

- RIZZO, L. V. *Os fluxos turbulentos de partículas e de compostos orgânicos voláteis e a distribuição vertical de aerossóis da baixa troposfera da Amazônia*. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2006.
- ROSA, A. M. *et al.* Doença respiratória e sazonalidade climática em menores de 15 anos em um município da Amazônia Brasileira. *J Pediatr.*, v. 84, n. 6, p. 543-549, 2008.
- _____. Prevalence of asthma in children and adolescents in a city in the Brazilian Amazon region. *J. Bras. Pneumol*, v. 35, n. 1, p. 7-13, 2009.
- SALDIVA P. H. N. Efeitos da poluição atmosférica na morbidade e mortalidade em São Paulo. *Braz J Med Biol Res.*, v. 29, p. 1.195-1.199, 1996.
- SCHWARTZ J. and DOCKERY D. W. Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am J Epidemiol.*, v. 135, p. 12-19, 1992.
- SEINFELD, J. H. e PANDIS, S. N. *Atmospheric chemistry and physics*. New York: John Wiley & Sons Ltd., 1998.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 54, p. 137-152, 2005.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Air quality guidelines: global update*. Geneva: WHO, 2005.
- YAMASOE, M. A. *Estudo de propriedades ópticas de partículas de aerossóis a partir de uma rede de radiômetros*. (Tese de Doutorado). São Paulo: Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1999.
- YOKELSON, R. J.; CHRISTIAN, T. J.; KARL, T. G. and GUENTHER, A. The tropical forest and fire emissions experiment: laboratory fire measurements and synthesis of campaign data. *Atmos. Chem. Phys.*, v. 8, p. 3.509-3.527, 2008.