

VII-405 - CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO FINO E RESPOSTAS EPIDEMIOLÓGICAS EM MANAUS, AM, BRASIL

Fábio Bortoloto Valebona⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Mestrando em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Paraná. Analista na ACV Brasil.

Ana Flavia Locateli Godoi⁽²⁾

Graduada, mestre e doutora em Química pelo Instituto de Química de Araraquara. Pós-doutora pela Universidade de Antuérpia, e pelo Lawrence Berkeley National Laboratory. Professora Associada no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná.

Hugo Valadares Siqueira⁽³⁾

Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista, mestrado, doutorado e pós-doutorado pela Universidade Estadual de Campinas. Segundo estágio de pós-doutoramento na Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco e Illinois State University - EUA. Professor Adjunto no Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa.

Yara de Souza Tadano⁽⁴⁾

Graduação em Bacharelado em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas e Pós-doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Professora Adjunta do Departamento de Matemática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa.

Ricardo Henrique Moreton Godoi⁽⁵⁾

Graduação em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, mestrado e doutorado em Físico-Química pela UNESP. Pós-Doutorado na Universidade de Antuérpia-Bélgica. Professor Adjunto no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná.

Endereço⁽¹⁾: Rua Emílio Cornelsen, 200 - Curitiba - PR - Brasil - e-mail: fabio.valebona@gmail.com

RESUMO

Existem evidências dos efeitos adversos de eventos de poluição atmosférica sobre a saúde da população em centros urbanos. Por isso, o monitoramento dos poluentes atmosféricos é importante em áreas sob influência de fontes poluidoras. A cidade de Manaus está inserida em um ambiente de floresta amazônica sendo sazonalmente atingida por plumas atmosféricas emitidas pela queima de biomassa causada pelas mudanças no uso do solo no seu entorno. No entanto, não existe um monitoramento contínuo da qualidade do ar na cidade. O presente trabalho teve o objetivo de monitorar as concentrações de material particulado com diâmetro aerodinâmico menor de 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$) diariamente em um ponto amostral inserido no perímetro urbano de Manaus durante o período de 2015–2016, no qual um fenômeno El Niño extremo causou aumento dos focos de queimadas. O $\text{MP}_{2,5}$ ainda foi caracterizado pela quantificação de *black carbon* (BC) e concentrações elementares. Os resultados mostram que houve um aumento da concentração de $\text{MP}_{2,5}$ durante períodos com grande número de focos de queimadas, enquanto que as concentrações de BC permanecem homogêneas durante o período de amostragem. As especiações químicas confirmam que o íon sulfato e o elemento potássio, quando associados ao $\text{MP}_{2,5}$, podem ser considerados traçadores de plumas de queima de biomassa. Concentrações mais elevadas de elementos crustais durante a estação chuvosa indicam o transporte de poeira do continente africano para bacia amazônica, como já observado em outros estudos. Foi investigada a correlação entre os dados de concentração de $\text{MP}_{2,5}$ e números de internações hospitalares cardiovasculares e respiratórias por meio de estruturas de Redes Neurais Artificiais (RNAs). Dentre as estruturas de RNAs testadas, as não recorrentes (máquinas de aprendizado extremo – ELM e *perceptron* de múltiplas camadas – MLP) obtiveram bom desempenho. Os resultados indicam que a exposição às condições atmosféricas resulta em internações hospitalares com quatro dias de atraso para doenças cardiovasculares e seis dias de atraso para doenças respiratórias. O uso da ELM pode ser promissor na previsão de desfechos mórbidos devido a variáveis atmosféricas em Manaus por ser uma estrutura que exige baixo esforço computacional quando comparada com a tradicional MLP.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade do ar, Material Particulado, Amazônia, Epidemiologia, Rede Neural Artificial.

INTRODUÇÃO

Na cidade de Manaus, localizada no bioma da Amazônia, existem diversas fontes de poluentes atmosféricos tais como veículos automotores, usinas termoeletricas, o Polo Industrial de Manaus e queimadas florestais ocasionadas pela mudança no uso do solo no entorno da cidade. Além disso, as florestas de entorno são potenciais fontes de emissões biogênicas de gases, principalmente compostos orgânicos voláteis (COVs) e de material particulado (MP) biogênico, como, por exemplo, o pólen. No entanto, a cidade não conta com uma rede de monitoramento da qualidade do ar e poucos são os estudos que o fizeram durante um período representativo. De 2011 a 2013, Barbosa (2014) implementou em Manaus a metodologia de monitoramento de MP com diâmetro aerodinâmico inferior a $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) utilizada pelo Instituto Nacional Ciência e Tecnologia (INCT) (MIRANDA et al., 2012) e obteve valores de concentração abaixo dos registrados para a maioria das cidades consideradas.

A diversidade de fontes de emissão de poluentes e a sazonalidade de eventos de poluição devido às queimadas florestais, que predominam durante a estação com menor pluviosidade, podem gerar uma resposta epidemiológica característica na população. A quantificação da relação concentração-resposta entre poluentes atmosféricos e dados epidemiológicos vem tradicionalmente sendo realizada por meio de modelos estatísticos de séries temporais (JANSSEN et al., 2011). As respostas obtidas pelos modelos podem variar de acordo com as características dos poluentes e da população exposta. Recentemente, alguns autores perceberam que a tarefa de prever desfechos de saúde a partir de variáveis de poluição atmosférica e climáticas, um problema não linear, pode ser resolvida por modelos de Redes Neurais Artificiais (RNAs) (NASCIMENTO et al., 2009). Esses modelos podem ser capazes de realizar uma melhor aproximação e não são tão exigentes quanto a completeza das bases de dados, muitas vezes um fator limitante nesse tipo de estudo (POLEZER et al., 2017). Porém, diversas estruturas de RNAs estão disponíveis, sendo necessário entender quais delas se adequam melhor ao problema.

OBJETIVO

O presente trabalho teve o objetivo de monitorar as concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ diariamente em um ponto amostral inserido no perímetro urbano de Manaus durante o período de 2015–2016, no qual um fenômeno El Niño extremo influenciou o aumento dos focos de queimadas. O $\text{MP}_{2,5}$ ainda foi caracterizado pela quantificação de *black carbon* (BC) e concentrações elementares. Em seguida, avaliou-se a resposta epidemiológica de variações na concentração de MP, temperatura e umidade. Dessa forma, o estudo visa os seguintes objetivos específicos:

- Determinar a concentração gravimétrica diária de $\text{MP}_{2,5}$ em um ponto amostral, durante o período de um ano;
- Medir a quantidade de *Black Carbon* no MP através da técnica de transmitância, e concentrações elementares por fluorescência de raios-X;
- Comparar o desempenho de diferentes estruturas de RNAs – modelos computacionais de predição – na previsão de números diários de internações hospitalares por doenças respiratórias ou cardiovasculares a partir das médias diárias de $\text{MP}_{2,5}$, umidade relativa e temperatura.

METODOLOGIA

O $\text{MP}_{2,5}$ foi coletado através de um amostrador de impactação inercial, denominado impactador Harvard. Uma bomba a vácuo garante uma vazão de $10\ \text{L}\ \text{min}^{-1}$, que é utilizada pelo equipamento para selecionar partículas com diâmetro de $2,5\ \mu\text{m}$ ou menor. A amostragem de $\text{MP}_{2,5}$ em ambiente urbano foi realizada próxima a Universidade Estadual do Amazonas (S $3^\circ\ 6'\ 11,5''$; O $59^\circ\ 58'\ 59,3''$), com frequência aproximadamente diária. O local está próximo a uma avenida com grande fluxo de veículos.

A série temporal de amostragem contém um total de 382 dias, porém, devido a limitações logísticas algumas amostras acumularam por mais de um dia. Então, apenas 194 amostras foram coletadas, das quais 46 foram amostradas por um período maior que 24 horas, variando de, na maioria dos casos, dois até onze dias. A prática de acumular o MP em um mesmo filtro durante alguns dias seguidos é comum em estudos na região amazônica,

principalmente para obter massa suficiente para análise (ARTAXO et al., 2013). Para as amostras com período de amostragem maior que um dia, a concentração média obtida foi considerada para o período inteiro.

A caracterização do $MP_{2,5}$ coletado nos filtros ocorreu através das técnicas de gravimetria, para determinação da concentração mássica no ar, transmitância, para quantificação da fração de carbono negro, e fluorescência de raios-X para quantificação de concentrações elementares.

O transmissômetro óptico SootScan (OT21, Magee Scientific ®) foi utilizado para determinação quantitativa de carbono negro (*black carbono*) (BC). A absorção óptica das partículas é medida com auxílio de uma fonte de luz operando no comprimento de onda 880 nm (infravermelho). A medida de absorção no comprimento de onda de 880 nm fornece uma medida quantitativa de BC presente na amostra (MAGEE SCIENTIFIC, 2007). O equipamento utilizado para análise multi-elementar quantitativa do $MP_{2,5}$ foi o MiniPal 4 (PANalytical®, Países Baixos), através da técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X de Energia Dispersiva (EDXRF).

A metodologia de análise e as estruturas de RNAs utilizadas foram as implementadas por Tadano et al. (2016) e Polezer et al. (2017). Apesar das internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias terem diversas causas, é conhecido que MP, temperatura e umidade podem influenciar significativamente (TADANO et al., 2012). Além disso, Polezer et al. (2017) concluem que dentre as vantagens da utilização de RNAs frente aos modelos de regressão estatística está a capacidade de reconhecer conjuntos de dados parcialmente incompletos como é o caso de muitas campanhas de monitoramento de MP. Então, as variáveis explanatórias inseridas na camada de entrada das RNAs foram as concentrações diárias de $MP_{2,5}$ medidas e os dados meteorológicos (umidade e temperatura) obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As estruturas de RNAs utilizadas foram a Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), Máquinas de Aprendizado Extremo (ELM) e Redes Neurais de Estado de Eco (ESN), todas com apenas uma camada intermediária (oculta). O número de neurônios nesta camada foi definido em testes anteriores, nos quais o valor mínimo é cinco e o máximo duzentos (TADANO et al., 2016).

A base de dados foi dividida em três grupos. O primeiro corresponde ao período de 15 de agosto de 2015 até 22 de maio de 2016 (282 dias) e foi utilizado para o treinamento das redes. O segundo compreende o período de 23 de maio de 2016 a 11 de julho de 2016 (50 dias), utilizado como conjunto de validação para garantir a máxima generalização e evitar sobre-treinamento (*overfitting*) das redes. Por fim, as entradas computadas de 12 e julho de 2016 a 30 de agosto de 2016 serviram para a fase de testes, na qual as entradas são inseridas na rede já treinada e os resultados são comparados com os observados para que medidas de erro possam avaliar a qualidade da rede.

A medida de erro minimizada na fase de treinamento das RNAs foi o erro quadrático médio (MSE), dado pela Equação 1.

$$MSE = \frac{1}{N_s} \sum_{t=1}^{N_s} (d(n) - y(n))^2 \quad \text{Equação (1)}$$

onde, N_s corresponde ao número de amostras, $d(n)$ ao valor esperado ou observado e $y(n)$ à resposta da rede.

Em estudos de séries temporais para avaliação epidemiológica é comum considerar a possibilidade dos eventos de poluição e condições climáticas afetarem o número de desfechos mórbidos com alguns dias de atraso (*lag days*). Portanto, as análises foram realizadas considerando de zero a sete dias de atraso.

RESULTADOS

Os resultados das análises são apresentados como a média aritmética das amostras coletadas nos períodos definidos como estação seca (julho a dezembro), caracterizada pelo grande número de focos de queimada, e estação chuvosa (janeiro a junho), caracterizada por maiores volumes de chuva. Particularmente, um período de 33 dias (14/09/2015 – 16/10/2015) foi caracterizado por eventos de queimada frequentes nas florestas próximas a cidade de Manaus. A Tabela 1 traz uma análise descritiva dos dados de concentração de $MP_{2,5}$ e BC.

Tabela 1: Médias e desvios padrões das concentrações em $\mu\text{g m}^{-3}$ de $\text{MP}_{2,5}$ e BC associado

	Estação Chuvosa		Estação Seca		Período de queimadas frequentes	
	Média	N	Média	N	Média	N
MP _{2,5}	5,93 ± 2,56	167	10,19 ± 6,23	170	14,69 ± 8,15	33
BC	1,49 ± 0,60	164	1,54 ± 1,01	163	1,49 ± 0,66	30
BC/MP (%)	0,27 ± 0,08	164	0,17 ± 0,10	163	0,11 ± 0,05	30

A análise descritiva das concentrações elementares obtidas através da análise por EDXRF é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Médias e desvios padrões das concentrações em ng m^{-3} de elementos associados ao $\text{MP}_{2,5}$

	Estação Chuvosa		Estação Seca		Período de queimadas frequentes	
	Média	N	Média	N	Média	N
Al	101,64 ± 110,80	105	66,01 ± 72,91	87	45,10 ± 23,58	26
Si	220,27 ± 239,57	102	122,72 ± 145,12	85	77,94 ± 36,23	24
Cr	1,18 ± 1,00	82	1,12 ± 2,08	71	0,63 ± 0,40	9
Pb	3,41 ± 4,90	67	3,03 ± 2,35	23	1,33 ± 0,00	1
Fe	93,10 ± 68,22	106	59,54 ± 54,51	87	39,97 ± 25,15	26
Co	0,54 ± 0,25	15	0,37 ± 0,27	6	0,33 ± 0,34	4
Ti	8,12 ± 7,64	105	5,13 ± 5,01	95	3,93 ± 2,31	26
Mn	4,36 ± 3,38	81	3,77 ± 3,08	54	2,40 ± 1,15	7
S	205,58 ± 113,21	168	315,64 ± 172,36	145	346,17 ± 157,63	26
K	55,82 ± 56,64	102	93,72 ± 64,37	143	99,41 ± 53,43	24
Ca	34,34 ± 38,21	167	23,42 ± 35,29	147	14,03 ± 13,32	25

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos testes das estruturas de RNAs para explicar o número diário de interações respiratórias e cardiovasculares a partir das concentrações de $\text{MP}_{2,5}$, temperatura e umidade relativa. Os erros correspondem à média de 30 simulações.

Tabela 3: Desempenho das redes neurais artificiais

	Metrics	Predictor	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3	Lag 4	Lag 5	Lag 6	Lag 7
MSE	IR	ELM	32,32	32,08	31,69	30,44	29,96	29,46	30,79	30,83
		ESN	32,03	33,86	33,92	32,96	33,56	32,21	32,79	32,04
		MLP	33,88	33,28	32,75	31,21	28,95	31,27	32,29	32,1
IC	IR	ELM	60,11	57,26	56,09	50,25	43,98	38,61	37,77	47,63
		ESN	121,99	138,38	123,52	138,39	147,7	154,53	136,17	136,95
		MLP	82,31	69,7	59,55	56,67	55,43	49,75	41,44	45,24

LEGENDA: ELM – Máquinas de Aprendizado Extremo; ESN – Redes Neurais de Estado de Eco; IR – Interações Respiratórias; IC – Interações Cardiovasculares; MLP – Perceptron de Múltiplas Camadas; MSE – Erro Quadrático Médio.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A concentração de $\text{MP}_{2,5}$ em Manaus obteve maiores valores durante a estação seca (julho a dezembro), principalmente para os meses de setembro a novembro de 2015 quando foi registrado quantidade de focos de queimada acima do normal para a região. A concentração mínima encontrada foi de $1,87 \mu\text{g m}^{-3}$ e a máxima de $29,55 \mu\text{g m}^{-3}$. A concentração média encontrada para a estação seca de $10,19 \pm 6,23 \mu\text{g m}^{-3}$ está próxima da encontrada por Barbosa (2014) de $11,60 \mu\text{g m}^{-3}$. A diferença encontrada com a média da mesma estação de Andrade Filho et al. (2013) que foi de $20,60 \mu\text{g m}^{-3}$ pode ser explicada por serem de períodos distintos pela

metodologia de medição indireta utilizada pelos autores. Para a estação chuvosa, novamente a média encontrada está próxima da encontrada por Barbosa (2014) e duas vezes menor do que a encontrada por Andrade Filho et al. (2013). Os valores de $MP_{2,5}$ encontrados durante a estação seca são intermediários entre os valores encontrados em região pristina próxima de Manaus ($7,40 \mu\text{g m}^{-3}$) e em região de pasto no sul da Amazônia ($27,9 \mu\text{g m}^{-3}$) reportados por Arana et al. (2014). Isto evidencia o fato de que mesmo Manaus sendo um centro urbano atingido por plumas de queima de biomassa, os níveis de $MP_{2,5}$ são inferiores do que os da porção sul da Amazônia que podem chegar a uma média de $67 \mu\text{g m}^{-3}$ na estação seca (ARTAXO et al., 2002). Durante o período considerado de queimadas frequentes (14/09/2015 – 16/10/2015) a média de $MP_{2,5}$ foi de $14,69 \pm 8,15 \mu\text{g m}^{-3}$, valor semelhante aos de centros urbanos como Curitiba, Belo Horizonte e Porto Alegre, enquanto que, a média do período inteiro é semelhante com a de Recife (MIRANDA et al., 2012).

As concentrações de BC associado ao $MP_{2,5}$ apresentaram uma distribuição constante ao longo do período estudado. Arana et al. (2014) encontrou valores 3 vezes menores do que os observados no presente estudo na estação seca em região pristina da Amazônia central, porém na região sul os valores chegaram a $2,4 \mu\text{g m}^{-3}$.

As concentrações médias de S e K foram estatisticamente superiores (teste-T, p -valor $< 0,05$) durante a estação seca quando comparadas com a chuvosa. Estas observações confirmam a relação desses elementos na fração fina do MP com emissões da queima de biomassa (YAMASSOE et al., 2000).

Os elementos crustais Si, Al, Fe, Ca e Ti apresentaram concentrações significativamente superiores durante a estação chuvosa (teste-T; p -valor $< 0,05$). Essas observações podem ser explicadas por eventos sazonais de transporte de poeira do deserto do Sahara para a bacia amazônica durante o período de janeiro a maio (BAARS et al., 2011).

As concentrações médias da maioria dos elementos associados com emissões antrópicas e queima de combustíveis fósseis não apresentaram diferença significativa entre as estações do ano (Cr, Mn, Zn e Pb).

Dentre as RNAs treinadas para prever internações por doenças cardiovasculares a que apresentou melhor desempenho do geral foi a ELM. Porém, o menor valor de MSE encontrado foi para a rede MLP considerando quatro dias de atraso (Tabela 3).

Os resultados da fase de testes para a previsão de casos de internação por doenças respiratórias têm um comportamento similar aos encontrados para doenças cardiovasculares. A máquina desorganizada não recorrente ELM também teve melhor desempenho no geral. Porém, nesse caso, a ELM considerando seis dias de atraso apresentou o menor erro.

Esses resultados demonstram que as variáveis temperatura, umidade relativa e concentração de $MP_{2,5}$ podem levar a casos de internação hospitalar quatro dias após a exposição no caso das doenças cardiovasculares e com seis dias de atraso para as doenças respiratórias. Isto pode ter diversos motivos, como o desfecho de saúde analisado, idade da população ou outras condições específicas da população estudada, por exemplo, o clima, dieta e outras atividades (POLEZER et al., 2017). A fase testes também demonstrou que a máquina desorganizada não recorrente teve dificuldade em ajustar resultados precisos em suas simulações. Já as RNAs recorrentes obtiveram melhor desempenho e baixa dispersão dos erros nas simulações. Destaca-se a ELM, que obteve bons resultados tanto para a previsão das doenças cardiovasculares quanto para as respiratórias, e por se tratar de uma máquina desorganizada tem a vantagem de possuir menor custo computacional, uma vez que sua fase de treinamento se resume a solucionar uma combinação linear. Porém, o menor erro médio encontrado nos testes de previsão das internações por doenças cardiovasculares foi obtido através da MLP, a qual não deve ser descartada em avaliações futuras apesar da otimização dos pesos da camada intermediária exigirem um maior custo computacional.

CONCLUSÕES

A partir da análise dos níveis de $MP_{2,5}$ ao longo do período estudado, concluiu-se que as maiores concentrações ocorreram durante a estação seca, que coincidiu com eventos de queimada de biomassa na região. Apesar de, para alguns dias, a concentração ultrapassar a recomendada pela Organização Mundial da Saúde a média da estação pode ser até sete vezes mais baixa do que a encontrada em pontos de amostragem na porção sul da bacia amazônica, onde a queima de biomassa tem mais impacto.

A análise de concentrações elementares confirmou a característica de traçadores de queimadas dos elementos potássio e sulfato devido a diferença significativa de concentrações na estação seca e chuvosa. Além disso, a concentração mais elevada de elementos crustais durante a estação chuvosa evidencia o transporte de poeira, já reportado em diversos estudos, do continente africano para a bacia amazônica.

A entrada das variáveis ($MP_{2,5}$, temperatura e umidade) em diferentes estruturas de RNAs possibilitou uma boa aproximação por parte das estruturas não recorrentes (ELM e MLP).

Para as doenças cardiovasculares estimou-se que os casos de internação hospitalares ocorrem quatro dias após a exposição às condições atmosféricas, enquanto que para as doenças respiratórias o atraso estimado foi de seis dias.

A estrutura de rede ELM mostrou-se promissora na previsão de casos de morbidade hospitalar por variáveis atmosféricas em Manaus, pois devido à sua característica de máquina desorganizada, realiza a aproximação com um esforço computacional mais baixo quando comparada com a tradicional MLP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE FILHO, V. S. D., ARTAXO, P., HACON, S., CARMO, C. N. D., & CIRINO, G. Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v. 47, p. 239-247, 2013.
2. ARANA, A., LOUREIRO, A. L., BARBOSA, H. M., VAN GRIEKEN, R., & ARTAXO, P. Optimized energy dispersive X-ray fluorescence analysis of atmospheric aerosols collected at pristine and perturbed Amazon Basin sites. *X-Ray Spectrometry*, 2014.
3. ARTAXO, P., MARTINS, J. V., YAMASOE, M. A., PROCÓPIO, A. S., PAULIQUEVIS, T. M., ANDREAE, M. O., GUYON, P., GATTI, L.V. & LEAL, A. M. C. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 107, n. D20, 2002.
4. ARTAXO, P., RIZZO, L. V., BRITO, J. F., BARBOSA, H. M., ARANA, A., SENA, E. T., CIRINO, G. G., BASTOS, W., MARTIN, S. T. & ANDREAE, M. O. Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. *Faraday discussions*, v. 165, p. 203-235, 2013.
5. BAARS, H., ANSMANN, A., ALTHAUSEN, D., ENGELMANN, R., ARTAXO, P., PAULIQUEVIS, T., & SOUZA, R. Further evidence for significant smoke transport from Africa to Amazonia. *Geophysical Research Letters*, 2011
6. BARBOSA, C. G. G. MONITORAMENTO DE MATERIAL PARTICULADO FINO NA CIDADE DE MANAUS PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS RISCOS À SAÚDE DA POPULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM AMBIENTE DE FLORESTA. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em < dspace.c3sl.ufpr.br >.
7. JANSSEN, N. A., HOEK, G., SIMIC-LAWSON, M., FISCHER, P., KEUKEN, M., ATKINSON, R. W. & CASSEE, F. R. Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2,5. *Environmental health perspectives*, 2011.
8. MAGEE SCIENTIFIC. Dual-Wavelength Optical Transmissometer Data Acquisition System Manual. 2007. Disponível em: <www.mageescientific.com>.
9. MIRANDA, R. M., DE FATIMA ANDRADE, M., FORNARO, A., ASTOLFO, R., ANDRE, P. A., & SALDIVA, P. Urban air pollution: a representative survey of PM2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air quality, atmosphere & health*, v. 5, n. 1, p. 63-77, 2012.
10. NASCIMENTO, E. M.; PEREIRA, B. B.; SEIXAS, J. M.. REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS: UMA APLICAÇÃO NO ESTUDO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SEUS EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE. *Rev. Bras. Biom*, v. 27, n. 1, p. 37-50, 2009.
11. POLEZER, G., TADANO, Y. S., SIQUEIRA, H. V., GODOI, A. F., YAMAMOTO, C. I., DE ANDRÉ, P. A., PAULIQUEVIS, T., ANDRADE, M. F., OLIVEIRA, A., SALDIVA, P. H. N., GODOI, R. H. M. & TAYLOR, P. E. Assessing the impact of PM 2.5 on respiratory disease using artificial neural networks. *Environmental Pollution*, 2017.
12. TADANO, Y. S.; UGAYA, C. M. L.; FRANCO, A. T. Methodology to assess air pollution impact on human health using the generalized linear model with Poisson Regression. *Air Pollution-Monitoring, Modelling and Health*. InTech, 2012.



13. TADANO, Y. S.; SIQUEIRA, H. V.; ALVES, T. A. Unorganized machines to predict hospital admissions for respiratory diseases. In: Computational Intelligence (LA-CCI), 2016 IEEE Latin American Conference on. IEEE, 2016. p. 1-6.
14. YAMASOE, M. A., ARTAXO, P., MIGUEL, A. H., & ALLEN, A. G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. Atmospheric Environment, 2000.