MONITORAMENTO DE FUMAÇA EM TEMPO REAL MEDIANTE SENSORES DE BAIXO CUSTO INSTALADOS NA AMAZÔNIA SUL-OCIDENTAL

I. Foster Brown[1], Alejandro Fonseca Duarte[2], Marta Torres[3], Cesar Ascorra[4], Juan Fernando Reyes[5], Guillermo Rioja-Ballivián[6], Vera Reis[7], Willian Flores de Melo[8], Sonaira Silva[9] e Carmen Acho[10]

[1]Woods Hole Research Center, Falmouth, MA, EUA, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil fbrown@uol.com.br; [2] Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, fd.alejandro@gmail.com; [3]Cincia, Puerto Maldonado, Peru, torresmi@wfu.edu; [4]Cincia, Puerto Maldonado, Peru, ascorrcf@wfu.edu; [5]Herencia, Cobija, Bolivia, jfr@herencia.org.bo; [6]Ecominga, Cobija, Bolivia, guillermorioja@gmail.com; [7]Instituto de Mudanças Climáticas, Rio Branco, Acre, Brasil, vlreis.reis21@gmail.com; [8]Universidade Federal do Acre-Floresta, Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil, willianflores@gmail.com; [9]Universidade Federal do Acre-Floresta, Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil, sonairasilva@gmail.com; [10]Cincia, Puerto Maldonado, Peru, achocj@wfu.edu.

RESUMO

A alteração acelerada do funcionamento da biosfera e a revolução tecnológica criam a necessidade e as ferramentas para tomadas de decisões sobre como cuidar do planeta e da sociedade humana. A Amazônia Sul-ocidental sofre os impactos de um processo global - queima de biomassa e a geração de fumaça - durante 3-5 meses por ano. Via sensores de baixo custo ligados a Internet das Coisas (IoT), foi possível colocar quatro sensores na região e em menos de um ano coletar mais de 420,000 observações em tempo real. Durante a época chuvosa de 2017-2018, as concentrações ficaram abaixo do limite anual proposto pela Organização Mundial de Saúde (OMS), 10 μgm^{-3}. A partir de junho de 2018, os valores subiram é frequentemente excederam até outubro de 2018 o limite diário da OMS de 25 μgm^{-3} em Rio Branco, Acre, Brasil e Puerto Maldonado, Madre de Dios, Peru.

Palavras-chave — Fumaça, Amazônia, Internet das Coisas, Saúde pública, poluição atmosférica

ABSTRACT

The accelerated change in the functioning of the biosphere and the technological revolution create the need and the tools for making decisions about how to care for the planet and human society. Southwestern Amazonia suffers the impacts of a global process - biomass burning and the generation of smoke - for 3-5 months per year. Via inexpensive sensors connected to the Internet of Things (IoT), it was possible to place four sensors in the region and in less than a year collect more than 420,000 observations in real time. During the Amazonian wet season of 2017-2018, the concentrations were low, below the annual limit recommended by the World Health Organization (WHO), 10 μgm^{-3}. As of June 2018, the values have risen to exceed frequently until October 2018 the WHO daily limit of 25 μgm^{-3} in Rio Branco, Acre, Brazil and Puerto Maldonado, Madre de Dios, Peru.

Key words — *Smoke, Amazon, Internet of Things, Public Health, Atmospheric Pollution*

1. INTRODUÇÃO

Duas tendências globais -- a alteração acelerada do funcionamento da biosfera [1] e a revolução tecnológica [2] -- forçam e facilitam as tomadas de decisões sobre como cuidar do planeta e da sociedade humana. Na escala regional, a Amazônia sofre modificações antropogênicas alterando a integridade do bioma [3,4].

Uma das alterações mais marcantes na Amazônia é a presença de fumaça oriunda da queima de biomassa durante 3 a 5 meses por ano. Esta fumaça tem implicações para a saúde humana e dos ecossistemas, as chuvas e as secas [4,5]. A Amazônia tem décadas de monitoramento e estudo do seu ambiente, caracterização de aerossóis de fumaça e interações entre biosfera e a atmosfera [5].

É sabido que durante uma semana na seca de 2005 a profundidade ótica de aerossóis atingiu valores extremos no leste do Acre [6], com estimativas das concentrações de material particulado fino (PM2.5) vinte vezes acima do padrão estipulado pela Organização Mundial de Saúde [7,8].

Este artigo visa apresentar uma iniciativa para utilizar a Internet das Coisas (Internet of Things, IoT) para o monitoramento *in situ* de material particulado na região amazônica trinacional de **M**adre de Dios (Peru), **A**cre (Brasil) e **P**ando (Bolivia), conhecida pela sigla **MAP**. O resultado do monitoramento é disponibilizado em tempo real à sociedade no mapa da rede Purple Air [9].

2. MATERIAL E MÉTODOS

Informado do anúncio divulgado no Weather Underground sobre o sensor Purple Air de monitoramento da qualidade do ar [10], o primeiro autor deste artigo adquiriu quatro

unidades PA-II SD que foram instaladas, respectivamente: na Universidade Federal do Acre (Ufac), campi Rio Branco e Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil; Centro de Inovacion Cientifica Amazonica (Cincia), Puerto Maldonado, Madre de Dios, Peru; e na sede da ONG Herencia, Cobija, Pando, Bolívia. (Figura 1).

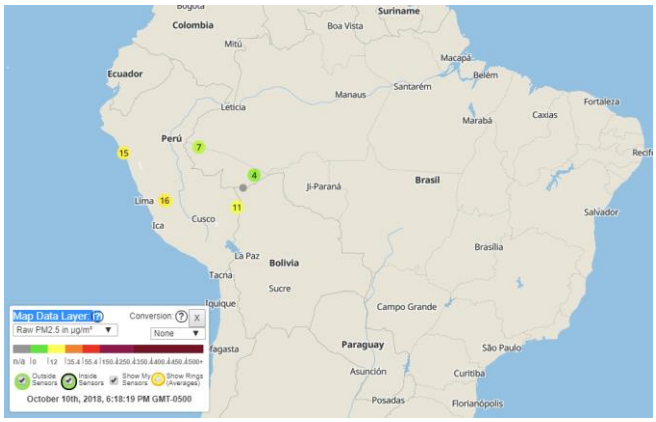


Figura 1. Localização dos primeiros sensores da rede Purple Air na Amazônia Sul-Ocidental, em 10out18. O Peru conta com outros sensores do tipo, como mostrado na parte oeste do mapa.

O sensor PA-II-SD usa dois canais laser (A e B) contadores de partículas (PMS5003) calibrados na fábrica como indicador da precisão das medidas com resolução de 1 µgm^{-3}. O laser reflete nas partículas no ar de tamanhos entre 0,3 e 10 µm. Estes dados são usados para estimar o índice de qualidade do ar (AQI) e as concentrações de PM1.0, PM2.5, PM10 em µgm^{-3} e partículas por decilitro [11]. Os dados são registrados cada 80 segundos, cerca de 1080 registros por dia., e são disponibilizados em tempo real na Internet [9]. Os dados podem ser baixados para diferentes localidades do planeta [12] ou especificamente para a região MAP [13].

3. RESULTADOS

O sensor em Rio Branco esteve operacional a partir de 13nov17 durante 250 dias contínuos até 20jul18 com geralmente entre 1000 e 1080 leituras por dia (Figura 2). Somente oito dias tiveram os números de leituras entre 292 e 1000. Interrupções têm acontecido devido à falta de energia elétrica ou Internet: de 21jul18 a 26jul18 faltou Internet e de 12 a 14set18 faltou energia. Entre 13nov17 e 1out18 foram 323 dias, 332.603 registros de dados e nove dias sem medições (3%). Cerca de 54 dias tiveram médias diárias (dados brutos) de MP2.5 acima de 25 µgm^{-3} e 183 dias com médias abaixo de 10 µgm^{-3}.

O sensor de Puerto Maldonado foi instalado em 30jun18 e até 1out18 registrou 91.303 leituras durante 93 dias consecutivos. Destes 27 dias (29%) tiveram valores entre 162 e 1000 registros por dia. As interrupções de energia elétrica foram as prováveis razões da redução de registros. Por cerca de 50 dias as médias diárias de PM2.5 (dados brutos) foram acima de 25 µgm^{-3} e oito dias tiveram médias abaixo de 10 µgm^{-3}. Os registros estão mostrados na Figura 3.

O sensor de Cobija foi instalado no fim de setembro de 2018 e o de Cruzeiro do Sul no início de outubro de 2018. Eles estão sem registros relevantes até a submissão deste artigo.

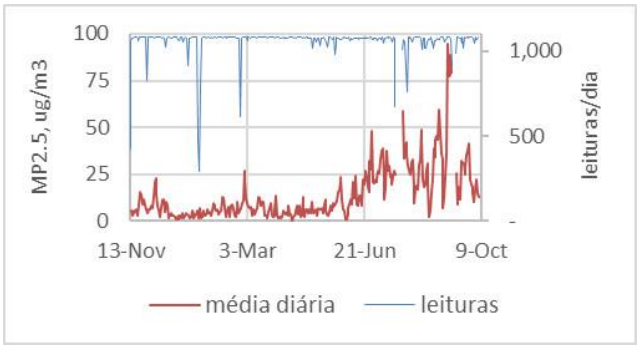


Figura 2. Dados de concentração média diária de material particulado PM2.5 e leituras diárias, registrados pelo sensor instalado em AcreBioClima Ufac de 13nov17 a 1out18. Rio Branco, Acre, Brasil.

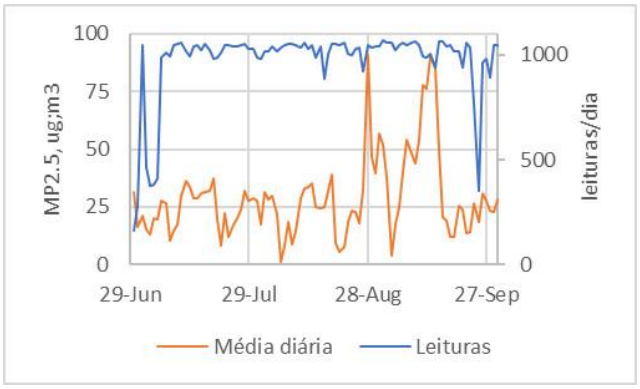


Figura 3. Dados de concentração média diária de material particulado PM2.5 e leituras diárias, registrados pelo sensor instalado na ONG CINCIA de 30jun18 a 1out18. Puerto Maldonado, Madre de Dios, Peru.

4. DISCUSSÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu padrões de concentração de material particulado com diâmetros abaixo de 2.5 µm de diâmetro aerodinâmico (MP2.5) para determinação da qualidade do ar. Segundo a OMS a média anual deve ser abaixo de 10 µgm^{-3} e o limite diário de 25 µgm^{-3} [8]. Um sensor Purple Air é pelo menos dez vezes mais barato que um equipamento tradicional para medições de particulado atmosférico PM2.5 [14], permitindo a criação de redes de monitoramento em

diversas áreas. Resta entender a precisão e acurácia destas medidas para saber os limites de interpretação [15].

Sensores de baixo custo têm evoluído rapidamente e comparações feitas dois anos atrás, precisam ser reavaliadas [16]. Recentemente, *South Coast Air Quality Management Distric*t de California (SCAQMD) nos EUA organizou um centro para avaliar os sensores de qualidade do ar. Em um teste de laboratório o sensor Purple Air PA-II mostrou uma resposta linear do sensor mas teve valores variando entre 79 e 146% referente à unidade padrão na faixa de 0 a 250 μgm^{-3}, e particularmente a subestimação aumente para valores maiores que 100 μgm^{-3} [14].

Na avaliação realizada em campo pelo SCAQMD, porém, a relação inverteu e o sensor do PA-II ficou com leituras mais altos do que a unidade padrão. A inclinação da regressão linear da unidade padrão x sensor de Purple Air ficou entre 52 e 64% [9]. Em outras palavras, as leituras do Purple Air neste experimento de campo foram cerca de 56% a 92% mais altas do que a unidade padrão [17].

A discrepância entre os resultados no campo e no laboratório indica que a incerteza da acurácia precisa de mais investigação. A precisão do sensor PA-II pode ser estimada a partir dos dados dos dois canais, A e B, de medição. Segundo SCAQMD, a precisão destas medidas é excelente, porém com um bias [14].

Para melhor entender o comportamento do sensor PA-II, pesquisadores da Universidade de Carnegie Mellon recentemente sugeriram correções para reduzir as discrepâncias entre as leituras do sensor PA-II e a unidade padrão, especialmente em momentos de alta umidade. Este erro pode ser reduzido ao aumentar o intervalo de observação, chegando a cerca de 1 μgm^{-3} para um intervalo de um ano [18]. Para picos rápidos de poucos minutos, a incerteza dos valores é maior de 5 μgm^{-3}. Há tendência para que as leituras do sensor do Purple Air sejam maiores que a unidade padrão, se não usar uma equação de correção [18].

Zheng et al. [19] usando um sensor modelo PMS3003, semelhante ao de Purple Air, notaram que o sensor dá valores cerca de 70 a 90% mais alto do que a unidade padrão, mas este erro pode ser reduzido com uma equação de correção usando umidade relativa e temperatura como variáveis.

Se este padrão for equivalente para sensores na Amazônia, os 54 dias com PM2.5 > 25 μgm^{-3} (dados brutos) em Rio Branco em 2018 têm uma incerteza associada. Para corrigir o erro poderíamos usar, por exemplo, um fator 1.8 (80%). Neste caso para a correção dos dados brutos seria dividí-los por 1.8 e somente 12 dias ficaram acima do padrão da OMS, 25 μgm^{-3}.

Mas mesmo com esta incerteza é possível observar tendências claras. Durante o período do inverno amazônico, as concentrações diárias em Rio Branco (Figura 2) ficam $\leq$ 10 μgm^{-3}, o que se considera uma concentração aceitável pela OMS para um ano. Em meados de junho o impacto das queimadas começa a ser detectado, com uma subida nas médias diárias e ocorrência de picos em agosto e setembro.

Durante a seca, período das queimadas, é possível observar o aumento cíclico da concentração de material particulado durante a noite (Figura 4). Este aumento pode ser um fator importante na saúde de grupos sensíveis a poluentes associados a fumaça.

Os dados dos sensores já foram incorporados nas alertas da Unidade de Situação Monitoramento Hidrometeorológico do Acre desde junho de 2018. O Ministério Público do Acre manifestou interesse em ajudar a estabelecer uma rede de monitoramento nos municípios do estado usando este modelo de sensor.

5. CONCLUSÕES

A Internet das Coisas acoplado com a revolução tecnológica de equipamento de mesuração permite expandir significativamente o monitoramento de variáveis pertinentes a mudanças ambientais globais. No caso deste artigo sensores com custos de USD 250 por unidade na fábrica geraram mais de 420 mil observações em tempo real sobre a qualidade do ar em vários pontos da Amazônia Sul-ocidental.

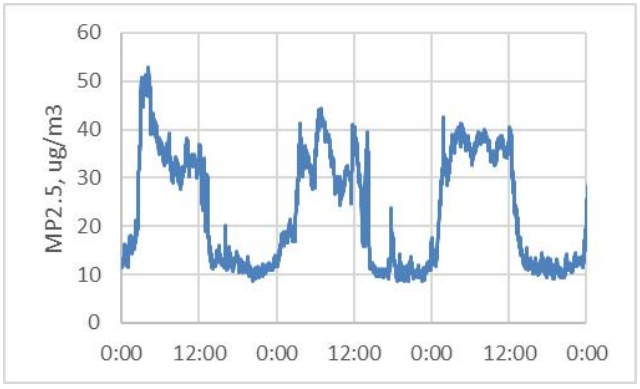


Figura 4. Ciclo diário da concentração de material particulado na Ufac, Rio Branco, Acre, Brasil. Exemplo do aumento noturno da concentração de MP2.5 das 00:00 1jul18 às 00:00 4jul18, horário UTC. Horário local é UTC-5.

Os dados precisam ser refinados com incorporação de correções para umidade, por exemplo, mas já fornecem tendências preocupantes, indicando que a população humana e os ecossistemas antrópicas e naturais poderiam estar sendo prejudicados no período de junho a setembro na Amazônia Sul-ocidental.

Além de ser disponibilizado para a sociedade em geral, os autores pretendem desenvolver módulos para que alunos e público interessados possam analisar a qualidade do ar que estão respirando como estimulo para alterar as tendências. Frente o desafio de cuidar do planeta e da

sociedade humana, precisamos toda a ajuda que a tecnologia possa oferecer.

6. AGRADECIMENTOS

À Fundação MacArthur para apoio financeiro na elaboração desta rede.

7. REFERÊNCIAS

[1] Steffen, W.; et al. "Trajectories of the Earth System in the Anthropocene." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, no. 33, p. 8252. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115.

[2] Feki, M.A. et al. "The Internet of Things: The Next Technological Revolution." *Computer* 46, no. 2, 24–25. 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1109/MC.2013.63.

[3] Davidson, E. A. et al. "The Amazon Basin in Transition." *Nature* 481, no. 7381, 321–28, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1038/nature10717.

[4] Wright, J. S. et al. "Rainforest-Initiated Wet Season Onset over the Southern Amazon." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.114, n.32, p 8481-8486, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1073/pnas.1621516114.

[5] Artaxo, P. et al. "Atmospheric Aerosols in Amazonia and Land Use Change: From Natural Biogenic to Biomass Burning Conditions." *Faraday Discussions* v.165, p. 203–35, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1039/C3FD00052D.

[6] Duarte, A.F.; Brown, I.F. e K. Longo. "Events of high particulate matter (smoke) concentrations in eastern Acre and their spatial relationship with regional biomass burning: the case of September 2005." *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 4453-4456, 2007.

[7] Dra. Karla Longo (com. pessoal).

[8] WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2005 Summary of risk assessment. World Health Organization. 2006. Disponível em: http://apps.who.int/iris /bitstream/handle/10665/ 69477/WHO_SDE_ PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1

[9] www.purpleair.com/map

[10] https://www.wunderground.com/sensors/purpleair

[11] https://www.purpleair.com/technology

[12] www.purpleair.com;sensorlist

[13] www.acrebioclima.pro.br

14] SCAQMD. Laboratory Evaluation PurpleAir PA-II PM Sensor. Draft. Disponível em: http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/laboratory-evaluations/purple-air-pa-ii---lab-evaluation.pdf?sfvrsn=4

[15] Brown, I.F.; Turcq, B,; Alechandre, A. "Teaching concepts of accuracy, precision, and opportunity cost in environmental sciences: Arms, legs and significant figures." Ciência e Cultura, v.47, no.1/2, p.41-44. 1995.

[16] Kelly, K.E. et al. "Ambient and Laboratory Evaluation of a Low-Cost Particulate Matter Sensor." *Environmental Pollution* v.221, p. 491–500. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.039.

[17] SCAQMD. Field Field Evaluation Purple Air (PA-II) PM Sensor Evaluation Draft. Disponível em: http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/field-evaluations/purple-air-pa-ii---field-evaluation.pdf?sfvrsn=4

[18] Malings C. et al. "Correction and Long-Term Performance Evaluation of Fine Particulate Mass Monitoring with Low-Cost Sensors." *Earth and Space Science Open Archive*. Acesso 11out18. 2018. Disponível em:. https://doi.org/10.1002/essoar.10500022.1.

[19] Zheng, T. et al. "Field Evaluation of Low-Cost Particulate Matter Sensors in High- and Low-Concentration Environments." *Atmospheric Measurement Techniques*, v.11, no. 8 , p. 4823–4846, 2018. Disponível em https://doi.org/10.5194/amt-11-4823-2018.