

# Uma Aplicação de Internet da Natureza para Monitoramento de Queimadas e da Qualidade do Ar na Amazônia

**Gustavo de A. Lima<sup>1</sup>, Igor O. Ribeiro<sup>1</sup>, Murilo C. O. C. Filho<sup>2</sup>, Renato Trevisan<sup>1</sup>, Rita V. Andreoli<sup>1</sup>, Allysson Lacerda<sup>2</sup>, Elloá G. da Costa<sup>1</sup>, Rodrigo A. F. de Souza<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Escola Superior de Tecnologia (EST), Universidade do Estado do Amazonas (UEA),  
Av. Darcy Vargas, 1200, 69050-010, Manaus-AM, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciência da Computação, Universidade Estadual de Montes Claros,  
Av. Prof. Rui Braga, s/n, Vila Mauriceia, 39401-039, Montes Claro-MG, Brasil

{gdal.eng21, rasouza, ebgcosta, rafersouza}@uea.edu.br,  
igorgeoinformacao@gmail.com, murilo.camargosf@gmail.com;  
steve.lacerda@unimontes.br, renato.tsignori@gmail.com

**Abstract.** Severe droughts and wildfires have become increasingly frequent in the Legal Amazon, resulting in large, burned areas and degradation of air quality, with direct impacts on public health. In response to this issue, this study presents an innovative solution using the Internet of Nature (IoN) and spatial technologies to monitor air quality and wildfires on the Amazon. The system, called SELVA (Electronic Environmental Surveillance System), uses low-cost sensors and environmental satellite data to inform the population in real time about atmospheric pollution levels, a unique service in the region. The SELVA platform has helped improve the efficiency of environmental management, contributing to public policies and environmental education initiatives.

**Resumo.** Secas severas e os incêndios florestais têm se tornado cada vez mais frequentes na Amazônia Legal, resultando em grandes áreas queimadas e na degradação da qualidade do ar, com impactos diretos na saúde da população. Em resposta a este problema, este estudo apresenta uma solução inovadora utilizando a Internet da Natureza (IoN) e tecnologias espaciais para monitorar a qualidade do ar e queimadas na Amazônia. A plataforma, chamada SELVA (Sistema Eletrônico de Vigilância Ambiental), usa sensores de baixo custo e informações de satélites ambientais para informar a população, em tempo real, sobre os níveis de poluição atmosférica, um serviço inédito na região. O SELVA tem ajudado a melhorar a eficiência na gestão ambiental, contribuindo para políticas públicas e ações de educação ambiental.

## 1. Introdução

Secas severas têm se tornado mais frequentes na Amazônia Legal nos últimos anos, as quais aumentam o risco de incêndios florestais em grandes áreas, produzindo perdas significativas em biodiversidade e consequente degradação da qualidade do ar atmosférico, com a emissão não apenas de gases tóxicos, mas também de elevada concentração de particulado inalável para a atmosfera [Phillips et al. 2009; Jolly et al. 2015; Panisset et al. 2017; Aragão et al. 2018, Cobelo et al. 2023].

As secas extremas que ocorreram nos últimos anos são consideradas as mais intensas dos últimos 100 anos na região [Marengo et al. 2011; Anderson et al., 2018].

Como resultado, os surtos de queimadas no bioma Amazônia têm aumentado significativamente, com um total de 98.639 focos de queimadas em 2023 e 140.346 em 2024. Entre janeiro e dezembro de 2024, mais de 30,8 milhões de hectares foram queimados no Brasil, o que representa um aumento de 79% em relação a 2023. A Amazônia foi o bioma mais afetado, e a área queimada em 2024 corresponde a mais da metade (58%) de toda a área queimada no Brasil em 2023. Este é o maior registro de área queimada nos últimos seis anos neste bioma [INPE, 2025].

Diante deste cenário ambiental atual, não se pode esquecer dos efeitos da poluição do ar na saúde da população, causando doenças respiratórias, redução da função pulmonar, entre outros danos. Os efeitos da fumaça oriunda dos incêndios florestais na saúde das pessoas são determinados pelo tempo de exposição, volume de ar respirado, concentração de poluentes no ar e condições de saúde individuais, com comprometimentos diversos, principalmente, em crianças e idosos. Assim, o impacto dos incêndios florestais na região amazônica sobre a poluição do ar tem sido um problema crítico, em diversas regiões do mundo, mas em particular no Brasil [Ribeiro et al. 2024; Rizzo e Rizzo 2025].

Ao mesmo tempo, os investimentos públicos (municipal, estadual e federal) em ações de proteção e Defesa Civil, como o combate aos incêndios, ainda são reduzidos no Brasil. Segundo o Portal da Transparência do Governo Federal, os investimentos não passaram de 0,09% do orçamento total da União, somados os investimentos entre os anos de 2022 e 2024. Assim, embora algumas instituições públicas monitorem os incêndios florestais na Amazônia Legal por meio de um sistema de relatórios diários e mensais, nenhuma delas tem disponibilizado informações para a população sobre o impacto das queimadas na qualidade do ar em tempo real. A disponibilização dessas informações em tempo real permitiria orientar a população para a adoção de ações eficazes de proteção à saúde, como o uso de máscaras contra poeira, a permanência em ambientes fechados e outras estratégias de intervenção individual e comunitária, que podem ser desenvolvidas de forma rápida e econômica, além de gerar conscientização sobre tema ambiental tão relevante, para a conservação da Amazônia hoje e no futuro.

À medida que muitas cidades brasileiras se tornam inteligentes, é essencial buscar tecnologias digitais que aumentem a eficiência e melhorem a qualidade de vida dos cidadãos, ao mesmo tempo em que promovem a sustentabilidade ambiental. O capital natural, do qual as cidades dependem, não pode ficar para trás nessa revolução digital. Portanto, integrar a natureza ao mundo digital é fundamental para uma gestão mais eficaz dos ecossistemas. Aplicações de Internet da Natureza (IoN, do inglês *Internet of Nature*) podem transformar a relação entre os seres humanos e o meio ambiente nas áreas urbanas [Galle et al. 2019].

Neste contexto, esse trabalho apresenta uma solução em IoN, para o monitoramento das queimadas e da qualidade do ar atmosférico na Amazônia, a partir de sensores de baixo custo e informações de satélites ambientais, a fim de informar a população, em tempo real, sobre a ocorrência de queimadas e o nível de poluição do ar atmosférico ao qual está sujeita, por meio de uma plataforma chamada SELVA (Sistema Eletrônico de Vigilância Ambiental). Essa é uma iniciativa inédita na Amazônia Legal, uma vez que não existem estações de referência para o monitoramento sistemático da qualidade do ar na região para informar ou alertar a população, além dos órgãos de controle ambiental.

Para apresentar o que se propõe, o presente artigo está estruturado da seguinte forma: os trabalhos relacionados encontram-se na Seção 2; a solução proposta é apresentada na Seção 3; os resultados e a discussão encontram-se na Seção 4 e as considerações finais na Seção 5, fechando com os agradecimentos e as referências utilizadas neste trabalho.

## 2. Trabalhos Relacionados

Todos os anos, incêndios florestais são responsáveis pelas emissões de toneladas de gases tóxicos e Material Particulado (MP) fino inalável para a atmosfera, os quais comprometem a saúde da população. Atualmente, a principal preocupação é a inalação de partículas finas, quantificadas como partículas com um diâmetro aerodinâmico inferior a  $2,5 \mu\text{m}$  (MP<sub>2,5</sub>), que podem penetrar no sistema respiratório e causar uma vasta gama de efeitos prejudiciais à saúde [Yang et al. 2022; Jiang et al. 2023].

Como mencionado anteriormente, nos últimos anos, o bioma Amazônia tem se destacado como sendo o bioma mais impactado pelas queimadas [INPE, 2025]. Ao mesmo tempo, essa região não possui uma rede de monitoramento operacional da qualidade do ar atmosférico com sensores de referência, como recomendado pela regulamentação brasileira, uma vez que estes sistemas são caros e importados. Além disso, grande parte dos municípios brasileiros onde ocorrem incêndios florestais geralmente carecem de infraestrutura hospitalar complexa e serviços de atenção primária à saúde, aumentando o risco de letalidade para as populações locais [Policy Brief, 2024].

Todavia, o uso de tecnologias digitais de baixo custo com IoN estão a contribuir para uma melhor abordagem com foco na proteção ambiental, particularmente em termos de detecção de incêndios e de redução do impacto dos incêndios no ambiente [Lertsinsrubtavee et al. 2023]. Em um estudo realizado por Kanabkaew e colaboradores (2019) foi possível demonstrar que uma rede de sensores de qualidade do ar de baixo custo com IoN poderia prever a dispersão da pluma de MP<sub>2,5</sub> em uma província da Tailândia, onde os incêndios florestais eram uma fonte significativa de MP<sub>2,5</sub>. A utilização de IoN com uma rede de sensores sem fios para detecção de pluma de poluição, bem como temperatura e umidade, têm sido amplamente aplicadas com sucesso para identificar incidentes de incêndios florestais em diversas regiões do mundo [Dasari et al. 2020; Dampage et al. 2022; Lertsinsrubtavee et al. 2023].

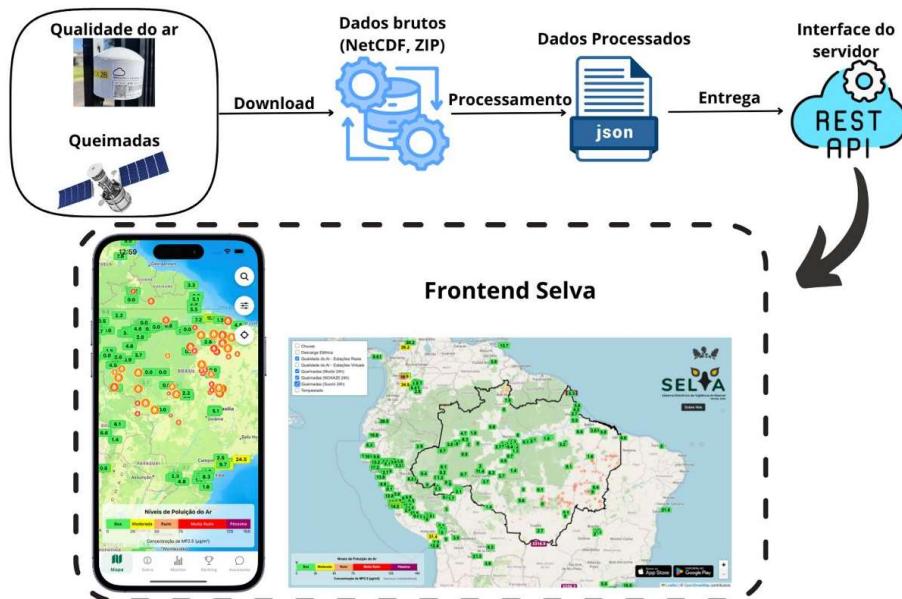
Por outro lado, iniciativas de monitoramento da qualidade do ar na Amazônia com sensores de baixo custo ainda são escassas, o primeiro estudo com sensores e baixo custo, para o monitoramento da qualidade do ar, foi realizado por um grupo de pesquisa da Universidade Federal do Acre (UFAC) [Brown et al., 2019]. O objetivo era enfrentar os graves problemas de qualidade do ar, agravados pela falta de monitoramento oficial local e regional. O estudo também demonstrou a viabilidade de se utilizar sensores de baixo custo com Internet das Coisas para avaliar o impacto das queimadas na poluição do ar da região do Acre, abrindo a porta para que outros grupos de pesquisa começassem a realizar o monitoramento e estudos em outros estados da Amazônia. Mais recentemente, instituições de pesquisa, entidades públicas e privadas, além de organizações da sociedade civil, motivadas pelo novo Plano Nacional de Qualidade do Ar (PNQA) de 2 de maio de 2024 (Lei n. 14.850), se juntaram em uma iniciativa chamada “Coalizão Respira Amazônia”, para fomentar o monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal. O objetivo geral da Coalizão Respira Amazônia é estimular a ampliação do

monitoramento na região, especialmente em áreas de difícil acesso, onde a infraestrutura é limitada [Policy Brief, 2024].

### 3. Solução Proposta

Frente ao contexto considerado, concebeu-se uma plataforma de dados ambientais, chamada SELVA, que contempla: a) os focos de queimadas identificados por satélites ambientais, os quais encontram-se disponíveis online na página do FIRMS (*Fire Information for Resource Management System*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*); e b) as concentrações de MP2,5, medidas com sensores de baixo custo da PurpleAir, instalados em superfície, espacialmente distribuídos na Amazônia.

A Figura 1 ilustra o contexto da solução implementada no SELVA, destacando os principais elementos constitutivos do sistema de monitoramento de qualidade do ar e queimadas. Após a instalação de sensores de qualidade do ar de baixo custo em diferentes localizações, a primeira etapa consistiu no download de dados de qualidade do ar e de queimadas (nos formatos NetCDF e CSV). Esses dados são então processados e convertidos para formato JSON (*JavaScript Object Notation*) e disponibilizados por meio de uma API REST. O processamento é feito na nuvem para, em seguida, serem visualizados em uma página na internet ([www.appselva.com.br](http://www.appselva.com.br)) e em um aplicativo para *smartphones* (*selvaapp*), compatível com os sistemas IOs e Android. Por fim, foi criada uma interface gráfica para interação com os usuários, baseada nas boas práticas de UX/UI, para que estes acompanhem indicadores ambientais por meio de mapas interativos. Além disso, usuários cadastrados na plataforma podem optar por receber notificações por e-mail sobre os níveis de poluição do ar de diferentes cidades da Amazônia.

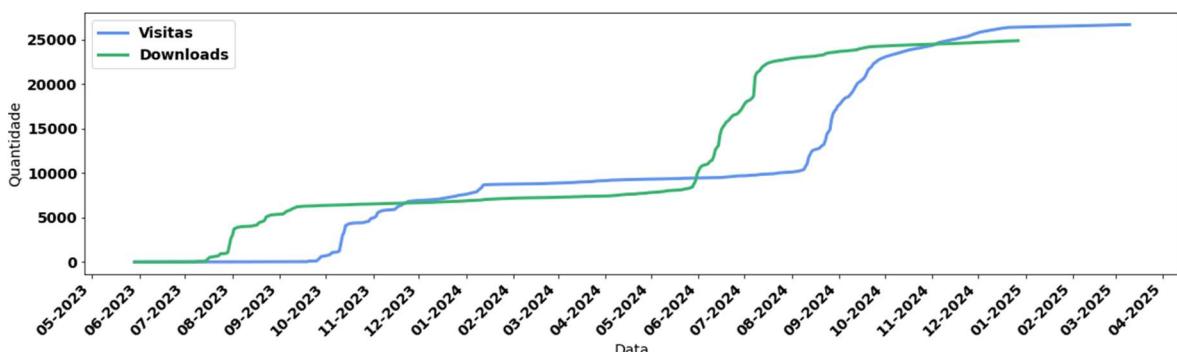


**Figura 1.** Diagrama esquemático da representação da solução proposta, contemplando uma ilustração que exemplifica a interface gráfica disponível aos usuários.

### 4. Resultados e Discussão

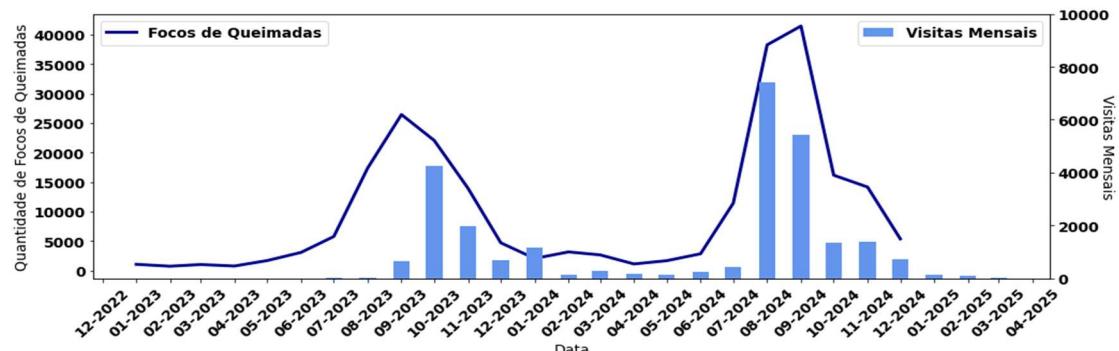
A solução proposta foi implementada com tecnologias PHP, TypeScript, Python, Firebase e React Native, tendo sido implantada e gerenciada em um servidor computacional em

nuvem. A plataforma foi então disponibilizada ao público em geral em 26 de setembro de 2023, pelo Grupo de Estudos Meteorológicos e Modelagem na Amazônia (GEMMA-CNPq), vinculado ao Curso de Meteorologia e ao Programa de Pós-Graduação em Clima a Ambiente (PPG-CLIAMB), da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas (PPG-MCS), da Universidade Estadual de Montes Claros, Minas Gerais. O aplicativo para a plataforma IOS foi lançado em dezembro de 2023. Desde o lançamento público da plataforma, há 18 meses, observou-se uma receptividade positiva da população, evidenciada pelo total de 26.668 visitas na loja de aplicativos e 24.860 downloads do aplicativo, com a evolução temporal apresentada na Figura 2.



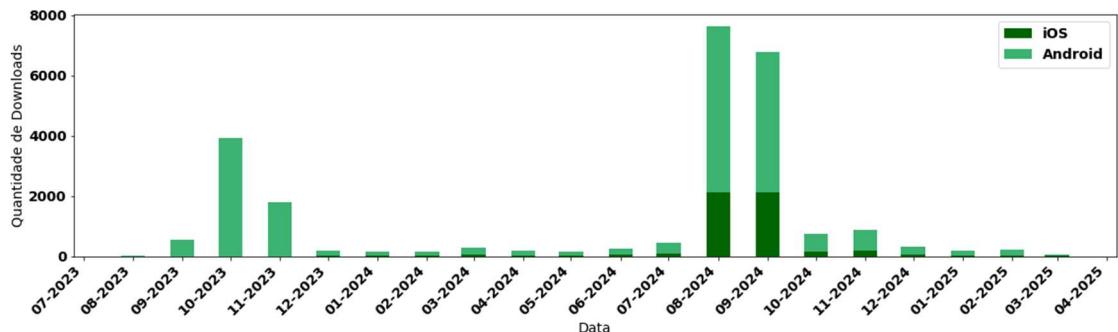
**Figura 2. Evolução temporal do número de visitas e downloads na plataforma SELVA entre os anos de 2023 e 2025.**

A partir de um processo de descoberta de conhecimento na base de dados de downloads do aplicativo, entre os anos de 2023 e 2025, foi possível observar que estes coincidiam com o período seco da região amazônica [Ribeiro et al. 2018], entre julho e outubro, quando a qualidade do ar tende a ser mais afetada pelas queimadas na região. Isso pode ser confirmado na Figura 3, que compara os downloads realizados mensalmente com o número de queimadas no bioma Amazônia, para os anos de 2023 a 2024. A partir deste gráfico, percebeu-se uma correlação moderada positiva entre as variáveis, com Coeficiente de Correlação de Spearman igual a 0,61. Este aspecto reforça as evidências de que a busca de informações na plataforma ocorre em decorrência do elevado índice de poluição do ar, o que ressalta uma necessidade do público-alvo em obter informações ambientais para tomada de decisões em tempo real para ações do dia a dia, tais como evitar atividades ao ar livre em dias poluídos e, eventualmente, fazer uso de máscaras faciais, as quais impactam diretamente na saúde e bem-estar.



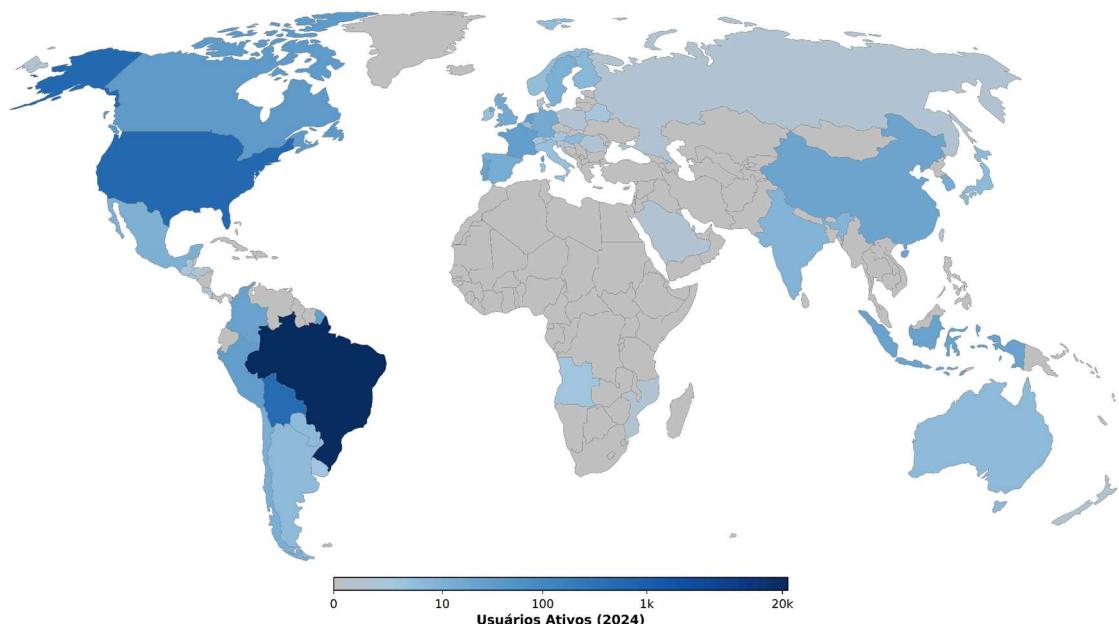
**Figura 3. Número de queimadas no bioma Amazônia em conjunto com o número de visitas dos usuários na plataforma SELVA.**

Outro parâmetro importante para avaliar a aceitabilidade da plataforma foi o número de downloads dos aplicativos a ela associados, ilustrado na Figura 4. Atualmente, os apps contam com mais de 25 mil usuários, dos quais cerca de 88,6% utilizam o sistema Android e os outros 11,4% usam o IOs. Ao longo dos anos de 2023 e 2024 o número médio de downloads foi de 1.243 novos usuários mensais, com picos de 7.628 e 6.772 nos meses de agosto e setembro de 2024, respectivamente. Em 2025, até o mês de março, já foram realizados mais de 450 novos downloads.



**Figura 4. Evolução temporal do número de downloads mensais do app entre os anos de 2023 e 2025, para os sistemas IOs e Android.**

É possível observar a adesão de usuários em diferentes países/continentes, conforme mostrado por meio de informações demográficas oriundas da plataforma Google Analytics, ilustradas na Figura 5. Embora o Brasil lidere o número de acessos, é possível perceber um interesse mundial no monitoramento das queimadas e da poluição do ar na Amazônia.



**Figura 5. Distribuição geográfica dos usuários da plataforma SELVA, com base no ano de 2024.**

A aceitação da plataforma pelo público-alvo também possibilitou o estabelecimento de parcerias importantes, como a cooperação com a Defesa Civil do Estado do Amazonas, que atualmente é responsável pela instalação e manutenção de sensores de qualidade do ar em diversos municípios, disponibilizados pela Secretaria

Estadual de Meio Ambiente (Sema). Dessa forma, o uso de tecnologias espaciais e sensores de baixo custo com IoT para informar a população, em tempo real, sobre os níveis de poluição do ar em sua região, também oferece subsídios essenciais para os órgãos de gestão e controle ambiental, ajudando a orientar a formulação de políticas públicas para a preservação ambiental da Amazônia.

## 5. Considerações Finais

Em uma era digital e de desastres climáticos crescentes, como tem ocorrido na Amazônia, principalmente com relação às queimadas, criar uma plataforma de monitoramento da qualidade do ar, consistiu em um passo importante para que os cidadãos monitorem e compartilhem dados sobre medições ambientais que impactam diretamente em sua saúde, sem a necessidade de intermediários, tais como órgãos governamentais. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), praticamente a metade dos países do mundo ainda não têm acesso a sistemas de alerta ambiental precoce que salvam vidas. Assim, a combinação de sensores de baixo custo para o monitoramento da poluição atmosférica, os quais custam cem vezes mais em conta do que estações convencionais de qualidade do ar, com tecnologias espaciais e dispositivos IoT têm demonstrado um potencial significativo para alertar as pessoas sobre riscos ambientais, além de funcionar como uma importante ferramenta de popularização da ciência, subsidiando ainda políticas públicas de gestão ambiental, principalmente em regiões de difícil acesso e de baixo poder aquisitivo.

Nesse contexto, a plataforma SELVA tem se mostrado uma ferramenta importante de informação sobre qualidade do ar na Amazônia para seus usuários. Além disso, ela tem apoiado as ações da Defesa Civil do Estado do Amazonas no período das queimadas na região. Paralelamente, o Ministério Público do Estado do Amazonas e a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (Sema) tornaram-se parceiros importantes do projeto, expandindo a rede de sensores de baixo custo para todos os municípios do interior do Estado. Essas parcerias também têm intensificado as ações de educação ambiental em escolas públicas, onde os sensores são instalados com o apoio da Secretaria Estadual de Educação (Seduc).

Assim, este trabalho corrobora com as recomendações da “Coalizão Respira Amazônia”, que reforça a importância dos esforços coletivos na busca por soluções para o problema das queimadas e da poluição do ar na Amazônia, especialmente em locais onde a instalação de equipamentos tradicionais de referência é inviável. Ressalta-se ainda o alinhamento deste trabalho com a iniciativa da Organização das Nações Unidas (ONU), que lançou recentemente uma iniciativa chamada “Alerta precoce para todos”, que visa garantir que todos, em qualquer lugar, sejam protegidos por um sistema de alerta até 2027. Finalmente, é importante comentar que a plataforma SELVA continua em constante atualização, com novas funcionalidades previstas para a próxima versão do app, dentre elas citam-se: inclusão de IA (Inteligência Artificial) para previsão da qualidade do ar e dispersão de pluma de fumaça, além do desenvolvimento de um modelo de chatbot.

## 6. Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) do CNPq/UEA, pela concessão de bolsa. O quinto e último autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), SEDECTI e Governo do Estado pelo suporte à pesquisa (Edital N.001/2023-

UNIVERSAL). O quinto, o sétimo e o oitavo autores agradecem à Universidade do Estado do Amazonas (UEA) pelo apoio à pesquisa, portaria 648/2023 - GR/UEA.

## Referências

- Anderson, L.O., Neto, Cunha, G. R., Fonseca, A. P. De Moura, M. G. Dallagnol, Y. M., Wagner, R., De Aragão, E.O.E.C., (2018). Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biology Sciences* 373.
- Aragão, E.O.C., Anderson, L.O., Fonseca, M.G., Rosan, T.M., Vedovato, L.B., Wagner, F.H., Silva, C.V.J., Silva Junior, C.H.L., Arai, E., Aguiar, A.P., Barlow, J., Berenguer, E., Deeter, M.N., Domingues, L.G., Gatti, L., Gloor, M., Malhi, Y., Marengo, J.A., Miller, J.B., Phillips, O.L., Saatchi, S., (2018). 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*. 9, 536.
- Brown I. F. Duarte, A. F., Torres M., Ascorra C., Reyes J. F. Rioja-Ballivián G., Reis V., Melo, W. F., Silva S., Acho C., “Monitoramento de fumaça em tempo real mediante sensores de baixo custo instalados na Amazônia Sul-Oeste” (2019). *Anais XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos-SP, Brasil, INPE, p. 1-9.
- Cobelo I., Francisco Jablinski Castelhano, Rafael Borge, Henrique L. Roig, Matthew Adams, Heresh Amini, Petros Koutrakis, Weeberb J. Réquia, (2023). The impact of wildfires on air pollution and health across land use categories in Brazil over a 16-year period, *Environmental Research*, Volume 224, 2023, 115522, ISSN 0013-9351.
- Dampage, U., Bandaranayake, L., Wanasinghe, R., Kottahachchi, K., Jayasanka, B., (2022). Forest fire detection system using wireless sensor networks and machine learning. *Scientific Reports*. 12, 1–11.
- Dasari, P., Reddy, G.K.J., Gudipalli, A., (2020). Forest fire detection using wireless sensor networks. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*. 13, 1–8.
- Galle, N. J., Nitolsawski, S. A., & Pilla, F. (2019). The Internet of Nature: How taking nature online can shape urban ecosystems. *The Anthropocene Review*, 6(3), 279-287.
- INPE (2025). Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. [https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacaoatual/estatisticas/estatisticas\\_estados/](https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacaoatual/estatisticas/estatisticas_estados/). [Online: acesso em 10-março-2025].
- Jiang, X., Eum, Y., Yoo, E.-H., (2023). The Impact of Fire-specific PM2.5 Calibration on Health Effect Analyses, vol. 857. *Science of the Total Environment*. 159548.
- Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J., Bowman, D.M.J.S., (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*. 6, 1–11.
- Kanabkaew, T., Mekbungwan, P., Raksakietisak, S., Kanchanasut, K., (2019). Detection of PM2.5 plume movement from IoT ground level monitoring data. *Environment Pollution*. 252, 543–552.

- Lertsinsrubtavee A., Thongchai Kanabkaew, Sunee Raksakietisak, (2023). Detection of forest fires and pollutant plume dispersion using IoT air quality sensors, *Environmental Pollution*, Volume 338, 122701, ISSN 0269-7491.
- Marengo, J.A., Tomasella, J., Alves, L.M., Soares, W.R., Rodriguez, D.A., (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*. 38, 1–5.
- Panisset, J.S., Libonati, R., Gouveia, M.P., Machado-silva, F., França, D.A., França, R.A., Peres, L.F., Gouveia, C.M.P., Machado-silva, F., França, D.A., França, J.R.A., Peres, L.F., Gouveia, M.P., Machado-silva, F., França, D.A., França, R.A., Peres, L.F., (2017). Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. *International Journal of Climatology*, 1-9.
- Phillips, O.L., Higuchi, N., Vieira, S., Baker, T.R., Chao, K., Lewis, S.L., (2009). Changes in Amazonian Forest Biomass, Dynamics, and Composition, 1980–2002, *Amazonia Global Change*. 373–387.
- Policy Brief (2024). Desafios e perspectivas do monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal Respira Amazônia. [https://www.researchgate.net/publication/385746413\\_Policy\\_Brief\\_Desafios\\_e\\_perspectivas\\_do\\_monitoramento\\_da\\_qualidade\\_do\\_ar\\_na\\_Amazonia\\_Legal\\_Respira\\_Amazonia](https://www.researchgate.net/publication/385746413_Policy_Brief_Desafios_e_perspectivas_do_monitoramento_da_qualidade_do_ar_na_Amazonia_Legal_Respira_Amazonia). [Online: acesso em 12-março-20205].
- Ribeiro, I. O., Andreoli, R. V., Kayano, M. T., T.R. Sousa, A. S. Medeiros, R.H.M. Godoi, A.F.L. Godoi, S. Duvoisin, S.T. Martin, R. A. F. Souza, (2018). Biomass burning and carbon monoxide patterns in Brazil during the extreme drought years of 2005, 2010, and 2015, *Environmental Pollution*, Volume 243, Part B, 1008-1014.
- Ribeiro, M. R.; Lima, M.V.M.; Ilacqua, R.C.; Savoia, E.J.L.; Alvarenga, R.; Vittor, A.Y.; Raimundo, R.D.; Laporta, G.Z. (2024). Amazon Wildfires and Respiratory Health: Impacts during the Forest Fire Season from 2009 to 2019, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21, 675.
- Rizzo L. V., Rizzo M. C. F. V., (2025). Wildfire smoke and health impacts: a narrative review, *Jornal de Pediatria*, Volume 101, Supplement 1, Pages S56-S64.
- Yang, Z., Mahendran, R., Yu, P., Xu, R., Yu, W., Godell Wattage, S., Li, S., Guo, Y., (2022). Health effects of long-term exposure to ambient PM2.5 in Asia-Pacific: a systematic review of cohort studies. *Current Environmental Health Report*. 9 (2), 130–151.