



ARTIGO

GOVERNANÇA DIGITAL NA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

POR

Eulanda Miranda dos Santos
emsantos@icomp.ufam.edu.br

A governança digital envolve governos, setor privado e sociedade civil em um intrincado conjunto de princípios, normas, procedimentos de tomada de decisão e programas compartilhados que moldam o ambiente digital. Por exemplo, é uma ferramenta fundamental para governos mais transparentes e eficientes, facilitando a execução de processos administrativos e serviços públicos mais relevantes. Além disso, é um meio para apoiar os objetivos de desenvolvimento sustentável. Em termos de sustentabilidade ambiental, a governança digital se manifesta por meio da melhoria

na implementação e monitoramento de políticas ambientais, na otimização da alocação de subsídios, na transformação de setores industriais a fim de implementar práticas mais limpas e verdes, e na gestão sustentável do consumo de recursos.

Um ponto de destaque nesse contexto é o uso de TIC (Tecnologia de Informação e Comunicação) na promoção de práticas sustentáveis, como a redução de emissões de carbono e o aumento da eficiência energética [1]. Entretanto, o emprego de TIC deve ocorrer de forma muito articulada, com ênfase em governança de dados, infraestrutura tecnoló-

gica, participação cidadã, etc. Em termos tecnológicos, é importante haver integração de redes de monitoramento, grandes bases de dados, inteligência artificial e compartilhamento de informações [2]. Iniciativas integradas de monitoramento ambiental podem ajudar nessa articulação ao possibilitar que a governança seja mais orientada a dados.

Monitoramento Ambiental para Governança

O monitoramento ambiental apoiado em tecnologia digital possibilita a coleta abrangente de dados, a análise inteligente e a integração de informações ambientais. É, portanto, um pilar fundamental para a governança digital. Esse monitoramento digital tem a capacidade de impulsionar tomadas de decisão com base em evidências robustas, em vez de suposições ou informações incompletas, possibilitando que as entidades avancem suas capacidades de enfrentamento dos desafios ambientais existentes e futuros. Portanto, a governança digital munida com o ferramental do monitoramento ambiental digital pode ser mais transparente, responsável e eficiente na gestão ambiental, fornecendo informações cruciais para a tomada de decisões e para a formulação de políticas de conservação.

Em [2], os autores destacam o Programa para a Construção da Rede de Monitoramento do Meio Ambiente Ecológico em escala nacional desenvolvido na China. Segundo os autores, são diversas as implicações desse programa na governança digital, tais como: transparência e responsabilidade aumentadas; maior eficiência

operacional e otimização de recursos; tomada de decisão orientada por dados; melhor colaboração interinstitucional; eficácia regulatória fortalecida; estímulo ao desenvolvimento econômico verde; transição de uma governança ambiental reativa para uma governança proativa; escalabilidade; e replicabilidade.

Entretanto, para que o ferramental de monitoramento digital seja capaz de impulsionar tanto os resultados ambientais quanto o avanço da governança digital, ele não pode ser limitado a coletar dados, pois apenas eles não levam diretamente à ação. É necessário o uso de tecnologias digitais avançadas, incluindo redes de monitoramento para coletar grandes quantidades de dados e modelos de inteligência artificial capazes de analisar essa quantidade massiva de dados. Além disso, os dados devem ser transparentes e os modelos de análise explicáveis.

Quanto à transparência dos dados, a capacidade de disseminar conhecimento e informação normalmente implica no uso de dados abertos. Porém, dada a grande variedade de dados provenientes de diferentes instituições, estratégias eficazes de governança de dados são necessárias para garantir a transparência e a integração bem-sucedida deles. Em [3], os autores destacam que a promoção de processos avançados de governança de dados, incluindo limpeza, representação, validação e processamento é uma das principais práticas para garantir que dados, algoritmos, modelos e protótipos sejam abertos, transparentes e reproduzíveis. No caso específico de modelos, é

fundamental dotá-los de mecanismos de explicabilidade para que possam justificar suas decisões.

A aplicação de tecnologias digitais para coletar, gerenciar e analisar dados sobre a biodiversidade pode enfrentar outros desafios além da necessidade de governança de dados e de modelos. Três desses desafios são os seguintes: 1) a coleta de dados em regiões remotas, como a região amazônica, enfrenta desafios geográficos e ambientais, por exemplo, distintos níveis de interferência no sinal devido à densa cobertura florestal; 2) a coleta de dados ambientais geralmente produz quantidades massivas de dados não rotulados; e 3) sensores para coleta não invasiva de dados frequentemente capturam muitos dados que não contêm informações de interesse para o monitoramento. Na próxima seção são descritas três abordagens para lidar com esses três problemas. Essas soluções podem ser incorporadas em redes de sistemas de monitoramento digital a fim de ampliar as possibilidades de uso desses sistemas em soluções de grande escala e abrangência.

Exemplos de Métodos para Lidar com Problemas de Monitoramento

A transmissão de dados é um desafio fundamental em monitoramento ambiental de longa distância, especialmente em áreas remotas ou áreas florestais. Em [4], os autores investigam uma solução de baixo custo para esse tipo de cenário, com foco no monitoramento da deterioração da qualidade da água. A solução é auxiliada pela tecnologia de transmissão

LoRa (Long Range) e busca selecionar parâmetros de transmissão LoRa para garantir a troca eficiente de dados entre nós de redes de sensores, adaptando-se a condições variáveis de rede. Os autores introduzem um novo algoritmo de seleção de parâmetros LoRa incorporando três métricas principais e conduzindo uma caracterização e validação abrangentes no ambiente florestal. O objetivo é construir um conjunto de valores de referência de qualidade de transmissão, representando-a de acordo com os parâmetros LoRa. Os resultados experimentais indicam que o algoritmo proposto reduz a perda de sinal, além de otimizar a seleção de potência de transmissão, alcançando um consumo de energia menor do que os parâmetros gerados por baselines. Os resultados destacam ainda que esse algoritmo pode aprimorar as transmissões em um ambiente de floresta tropical, como a Floresta Amazônica.

Sensores não invasivos comumente coletam muitos dados, os quais deverão ser processados, analisados, e frequentemente precisam ser rotulados antes de serem utilizados em tarefas de monitoramento. Em [5], os autores consideram a paisagem sonora como um sistema físico, onde dados acústicos coletados por sensores não invasivos são as saídas mensuráveis do sistema. Para atingir esse fim, eles propõem um índice de Entropia capaz de rastrear o estado ecoacústico de uma determinada paisagem, o qual permite compreender as variações na paisagem sonora causadas por vocalizações de animais e fenômenos ambientais de forma não supervisionada. Com essa

técnica, é possível caracterizar amostras de uma paisagem sonora específica, permitindo estudar e interpretar a dinâmica acústica do sistema não apenas para um determinado conjunto de espécies, mas como um todo. O índice apresentou excelentes resultados em um conjunto de gravações obtidas em uma área de várzea preservada na Reserva Sustentável de Mamirauá, localizada na Floresta Amazônica Central - Brasil.



FIG. 01 | (A) LOCAL DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM [4] E (B) EXEMPLO DE IMAGEM CAPTURADA POR CÂMERAS DE ARMADILHAS FOTOGRÁFICAS [6]. FONTE: EXTRAÍDO DE [HTTPS://LILA.SCIENCE/DATASETS/SHOT-SERENGETI](https://lila.science/datasets/snapshot-serengeti).

Por fim, um outro exemplo de sensores não invasivos que coletam grandes quantidades de dados para tarefas de monitoramento ambiental são as armadilhas fotográficas. Entretanto, dentre as imagens coletadas, a maioria não apresenta animais na cena. Esse problema representa um desafio importante porque as imagens vazias devem ser descartadas

para evitar o armazenamento e a transmissão de imagens irrelevantes, economizando largura de banda e reduzindo o uso da rede de transmissão. Em [6], é proposto um método para filtragem de imagens vazias que explora as informações de fundo da região de captura da imagem. Nesse método, uma Rede Neural Convolutiva Siamesa compara cada imagem capturada com uma imagem de referência específica do local, que descreve características como árvores, rochas, galhos e montanhas. A imagem de referência serve a dois propósitos: representa o local de captura e fornece à rede características ambientais detalhadas. A rede então mede a similaridade entre uma imagem capturada (ativada pelo sensor de movimento da câmera) e sua imagem de referência correspondente. Uma pontuação de similaridade baixa sugere a presença de animais na imagem capturada, pois difere significativamente da imagem de referência. A partir da filtragem de imagens vazias é possível utilizar as imagens que contêm animais para uma série de tarefas de monitoramento, como: classificação de espécies, contagem de espécies e identificação de espécies novas, sejam espécies invasoras ou espécies em migração devido a algum estresse ecológico.

Em conclusão, o monitoramento ambiental pode aumentar a eficácia na supervisão ambiental por meio do uso de tecnologias digitais, como redes de sensores e modelos de inteligência artificial, e por meio do uso de dados abertos, transparentes e compartilháveis. Além disso, pode ser arranjado de forma a facilitar

a obtenção de dados relevantes, mesmo em regiões desafiadoras como a Floresta Amazônica. Os trabalhos descritos neste artigo são apenas três exemplos de métodos propostos com foco na obtenção de dados não corrompidos, relevantes e que geram métricas de análise sem necessidade de rotulagem para tarefas de monitoramento. Essa combinação demonstra que o monitoramento ambiental em grande escala é um pilar fundamental para a governança digital.

Referências

1. HUANG, J. G. et al. Does digital governance matter for environmental sustainability? The key challenges and opportunities under the prism of natural resource management. *Resources Policy*, v. 91, p. 104812, 2024.
2. CHEN, X. et al. Government digital environment monitoring and firms' green M&A. *Finance Research Letters*, p. 107607, 2025.
3. MACÊDO, R. et al. Brazilian Perspective on Computing for the Planet's Sustainability. *Communications of the ACM*, v. 68, n. 7, p. 96-101, 2025.
4. MOREIRA, D.S. et al. LoRaBB: An Algorithm for Parameter Selection in LoRa-Based Communication for the Amazon Rainforest. *Sensors*, v. 25, n.4, 1200, 2025.
5. COLONNA, J. G. et al. Estimating Ecoacoustic Activity in the Amazon Rainforest Through Information Theory Quantifiers. *PLoS One*, v. 15, n. 07, p. 1-21, 2020.
6. ALENCAR, L. et al. A Context-Aware Approach for Filtering Empty Images in Camera Trap Data Using Siamese Network. In the 36th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images, p. 85-90, 2023.



EULANDA M. DOS SANTOS é Professora e Pesquisadora do Instituto de Computação (IComp) da Universidade Federal do Amazonas. Atua na área de aprendizado de máquina e visão computacional. É docente do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI-UFAM), orientando alunos de Mestrado e de Doutorado. Atua em projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação na área de monitoramento ambiental.