

Modelo para Gestão e Sustentabilidade Ambiental Assistido por Inteligência Artificial

ANTONIO GERALDO VIDAL

FEA/USP - FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DA USP

VALERIA DE SOUZA ASSUNCAO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA - UEFS

Resumo

O relato aborda um modelo de gestão e sustentabilidade ambiental assistido por inteligência artificial (IA), em alinhamento com iniciativas governamentais brasileiras e com a crescente importância da IA na sociedade. Este modelo visa apoiar o desenvolvimento sustentável através da integração de tecnologia avançada com práticas ambientais. O modelo proposto no relato visa desenvolver um sistema de IA para apoiar a gestão e sustentabilidade ambiental. Baseia-se em conceitos de ciência de dados e IA para ajudar na gestão ambiental através de coleta, tratamento e análise de dados. O relato apresenta um protótipo do sistema, desenvolvido com base em experiências práticas anteriores, integrado a serviços de IA para ajudar na gestão ambiental. O conceito de "ambiente" é amplo e multifacetado, envolvendo tanto aspectos naturais quanto sociais. A ciência de dados é essencial para organizar e analisar grandes quantidades de dados ambientais, permitindo a obtenção de informações úteis para a gestão ambiental. A IA, como um ramo da ciência de dados, usa algoritmos para simular inteligência humana e pode realizar tarefas complexas, oferecendo suporte para a gestão ambiental. No entanto, a aplicação da IA deve ser feita de forma ética e responsável. A principal função de um modelo de gestão ambiental é a coleta e análise de dados para tomada de decisões. Sistemas de informação ambiental, apesar de úteis, muitas vezes são incompletos e precisam de aprimoramento contínuo. A integração da IA com esses sistemas pode melhorar significativamente a gestão ambiental, fornecendo suporte para decisões mais precisas e eficazes. O modelo proposto inclui várias dimensões inter-relacionadas, como área ambiental, sociedade, população, legislação, projetos, gestão e conhecimento. A ideia é integrar e expandir sistemas existentes para aproveitar os benefícios da IA na solução de problemas ambientais. O protótipo desenvolvido utiliza tecnologia web moderna e abrange componentes do modelo proposto. O sistema permitirá que diversos usuários, como cidadãos, técnicos ambientais e empreendedores, acessem dados de forma controlada e transparente. Inclui funcionalidades para monitoramento, licenciamento e fiscalização, além de gerar alertas para riscos ambientais e auxiliar na análise de estudos de impacto ambiental. O sistema também oferecerá suporte para a configuração de fluxos de trabalho, gestão financeira e emissão de documentos e relatórios. A implantação de um sistema tão abrangente exige uma estratégia participativa que envolva todos os níveis de governo e outros atores relevantes. Casos piloto e provas de conceito serão necessários para validar e aprimorar o modelo. A descentralização da gestão ambiental é essencial para promover a sustentabilidade local e geral. A implementação do sistema proposto ajudará municípios a gerir melhor as questões ambientais e promover respostas mais rápidas e eficazes. A implementação do modelo proposto representaria um avanço significativo na gestão ambiental, permitindo uma melhor comunicação e cooperação entre diferentes esferas governamentais e atores envolvidos. A abordagem proposta busca promover a responsabilidade socioambiental e a sustentabilidade através do uso eficiente de dados e tecnologias avançadas. O modelo destaca a importância de mudar comportamentos e adotar novas práticas para atender às necessidades atuais

sem comprometer as futuras gerações. Em suma, o modelo para gestão e sustentabilidade ambiental assistido por IA pretende aprimorar a forma como lidamos com questões ambientais, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável através da integração de tecnologias avançadas e práticas colaborativas.

Palavras Chave

Sustentabilidade, Inteligência Artificial, Práticas Colaborativas

UM MODELO PARA GESTÃO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ASSISTIDO POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

1. INTRODUÇÃO

O artigo primeiro do projeto de lei número 2338 de 2023, em tramitação no Senado Federal, dispõe sobre o desenvolvimento, implementação e uso responsável de sistemas de inteligência artificial (IA) no Brasil, com o objetivo de proteger os direitos fundamentais e garantir a implementação de sistemas seguros e confiáveis, em benefício da pessoa humana, do regime democrático e do desenvolvimento científico e tecnológico.

Em 2024 o Pacto pela Transformação Ecológica entre os Três Poderes do Estado Brasileiro constituiu um compromisso para atuarem de maneira harmônica e cooperativa para a adoção de um conjunto de ações e medidas voltadas para: I - sustentabilidade ecológica; II - desenvolvimento econômico sustentável; III - justiça social, ambiental e climática; IV - consideração dos direitos das crianças e das gerações futuras; V - resiliência a eventos climáticos extremos.

Apresentado em 2024, o Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA) 2024-2028 busca promover o desenvolvimento, a disponibilização e o uso da inteligência artificial no Brasil, orientada à solução dos grandes desafios nacionais, sociais, econômicos, ambientais e culturais, de forma a garantir a segurança e os direitos individuais e coletivos, a inclusão social, a defesa da democracia, a integridade da informação, a proteção do trabalho e dos trabalhadores, a soberania nacional e o desenvolvimento econômico sustentável da nação.

Em sintonia com as iniciativas acima, o modelo apresentado neste relato propõe o desenvolvimento de um sistema assistido por inteligência artificial em benefício do desenvolvimento social, cultural e econômico sustentável. Com esse objetivo, o modelo trata de conceitos e práticas relacionadas à concepção, implementação e avaliação da estratégia para a sustentabilidade.

A inteligência artificial já faz parte do cotidiano, conforme comprovam o extenso uso da tecnologia de reconhecimento facial e a popularidade de grandes modelos de visão computacional e linguagem natural implementados por ferramentas como o ChatGPT e DALL-E (OpenAI), Gemini (Google) e Windows Copilot (Microsoft).

O modelo proposto procura fomentar a construção e implementação de um sistema assistido por IA para apoiar a gestão e a sustentabilidade ambiental a nível regional e nacional, aderente às iniciativas governamentais.

Inicialmente são abordados conceitos básicos sobre ciência de dados e inteligência artificial. Em seguida, com base em experiências práticas adquiridas através da execução de projetos de consultoria para a concepção e implementação de sistemas de informação de apoio à gestão ambiental, realizados para o IBAMA (1993 a 1998) e para a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (1999 a 2016), propomos o modelo.

Para avaliar a viabilidade tecnológica desta proposta, foi construído um protótipo integrado a serviços de IA, que poderá ser uma semente para a concretização de um sistema ambiental estratégico assistido por IA que auxilie a promover o desenvolvimento sustentável no país.

2. CONTEXTO INVESTIGADO: AMBIENTE, CIÊNCIA DE DADOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Segundo Sánchez (2020), o conceito de “ambiente”, central para o campo do planejamento e gestão ambiental, é amplo, multifacetado e maleável. Amplo porque pode incluir tanto a natureza como a sociedade. Multifacetado porque pode ser apreendido sob

diferentes perspectivas. Maleável porque pode ser reduzido ou ampliado de acordo com as necessidades e interesses governamentais, empresariais e sociais.

Supondo que seja possível obter grandes quantidades de dados ambientais, coletados de diferentes fontes, como imagens de áreas, características e uso do solo, hidrografia, vegetação, fauna, ocupação, infraestruturas, propriedades, empreendimentos, licenciamentos, infrações, entre outros, a ciência de dados pode ser utilizada para organizar, tratar, preparar e analisar esses dados, de modo a viabilizar a obtenção de conhecimentos ao revelar padrões, tendências e todo tipo de informação útil para alcance de objetivos relacionados ao ambiente.

Como um campo da ciência de dados, a inteligência artificial (IA) se concentra em criar sistemas que podem executar tarefas que normalmente exigiriam a inteligência humana. Sua base está no desenvolvimento de algoritmos e sistemas de computação (máquinas) capazes de aprender a partir de grandes quantidades de dados, e realizar tarefas complexas, como tomar decisões e resolver problemas de maneira semelhante ao ser humano.

Existem muitos aspectos dentro do conceito de IA que são aplicáveis a um sistema ambiental objetivando o desenvolvimento sustentável. A IA não é uma forma de inteligência no sentido humano, mas consegue, em muitas situações, simular o comportamento humano, podendo auxiliar na execução de um grande conjunto de atividades, ampliando a capacidade das pessoas em realizá-las, com menos esforço e maior assertividade. Contudo, devido a esse potencial, a IA precisa ser aplicada e utilizada com responsabilidade, transparência e ética, em benefício da sociedade e das pessoas, de acordo com normas estabelecidas.

3. DIAGNÓSTICO: MODELO PARA GESTÃO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Uma das principais funções que um modelo para gestão e sustentabilidade ambiental necessita é a coleta, tratamento e análise de dados para a geração de informações e tomada de decisão. Sem dados adequados as informações não podem ser obtidas e algoritmos de IA não podem ser treinados para apoiar a realização de tarefas, tomada de decisão e resolução de problemas relacionados à gestão e sustentabilidade ambiental em qualquer área ou região.

Sistemas de informação para gestão e sustentabilidade ambiental (governamentais e não governamentais) tem sido concebidos, implementados e operados há muito tempo. Como qualquer sistema de informação estão em constante processo de aprimoramento, mas alguns continuam incompletos, embora ofereçam apoio fundamental para a gestão e sustentabilidade ambiental. Ocorre que a diversidade, magnitude e a complexidade das demandas ambientais não têm paralelo em nenhuma outra área, uma vez que envolve simplesmente a natureza, a atividade humana e toda a sociedade.

As recentes evoluções da IA e a real possibilidade de sua integração aos sistemas de informação nos fez refletir sobre a dificuldade para lidar com dados, informações e problemas ambientais. Assim, entendemos que com a assistência de recursos de IA um sistema de informação ambiental pode se tornar muito melhor e mais completo, uma vez que a “máquina” pode ser treinada para aprender continuamente com a enorme diversidade e quantidade de dados relacionados ao ambiente e à sustentabilidade, captados pelo sistema, fornecendo um apoio inestimável para decisões e solução de problemas complexos.

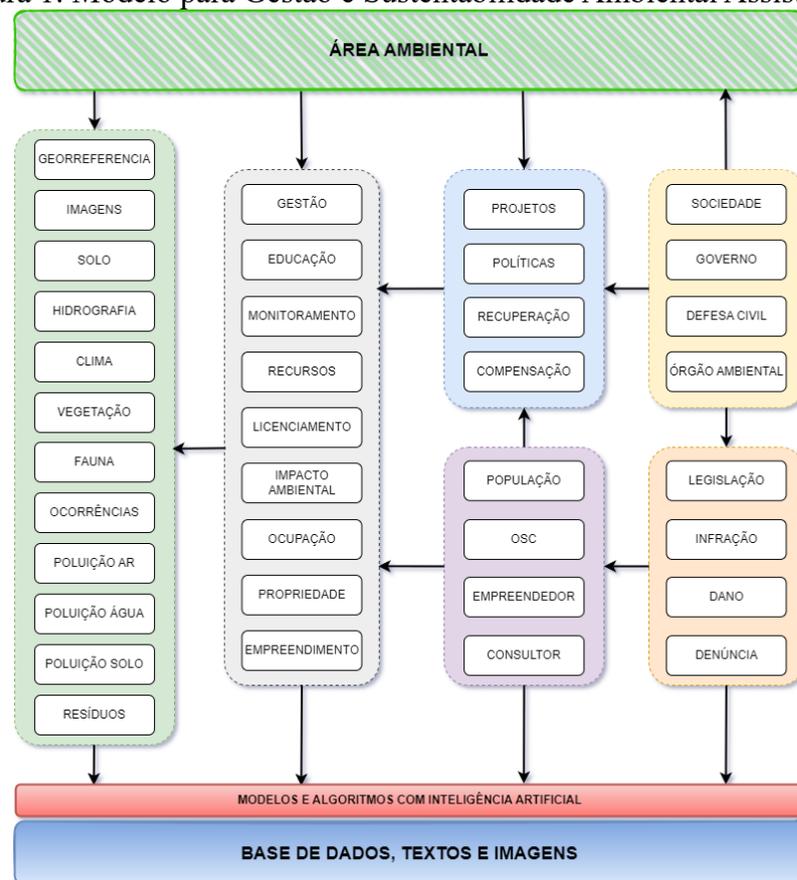
Os sistemas de informação ambientais existentes não precisarão ser reconstruídos, mas precisarão ser rapidamente adaptados, integrados e ampliados para poderem gerar dados e textos para aproveitar os benefícios da IA. Desta forma, além do papel que já

desempenham, poderão contribuir mais efetivamente com a solução de problemas como a questão climática, a energia sustentável, a preservação e a recuperação ambiental, enfim apoiar e criar estratégias de desenvolvimento sustentáveis.

A figura a seguir esquematiza o modelo proposto, que envolve as seguintes dimensões, que podem ser identificadas pelos blocos representativos e interrelacionados:

- Área Ambiental: georreferenciamento de áreas, imagens, solo, hidrografia, clima, vegetação, fauna, ocorrências, poluição (ar, água, solo), resíduos etc.;
- Sociedade: governos, defesa civil e órgãos ambientais e afins;
- População: cidadãos, organizações da sociedade civil (OSC), empreendedores, consultores e especialistas em meio ambiente;
- Legislação: normas federais, estaduais e municipais, infrações, danos e denúncias ambientais;
- Projetos: políticas ambientais, preservação, recuperação e compensação ambiental;
- Gestão: educação, monitoramento, recursos naturais, licenciamento, impactos ambientais, ocupação e infraestrutura, propriedades e empreendimentos que tenham influência sobre áreas ambientais.
- Conhecimento: bases de dados, textos e imagens assistidas por modelos e algoritmos com inteligência artificial especializados para a área ambiental.

Figura 1: Modelo para Gestão e Sustentabilidade Ambiental Assistido por IA



Fonte: Autoria própria

Neste breve relato não detalhamos cada um dos componentes que constituem o modelo proposto, muitos deles já concebidos e implantados em diversos sistemas de informação existentes. Todavia, o modelo destaca a integração, amplitude e abrangência do sistema, ou seja, organizar e ser capaz de preparar e fornecer os dados e informações

relevantes (em formato digital) para a gestão e sustentabilidade ambiental, de forma a poderem ser tratados pela ciência de dados utilizados por algoritmos de IA.

Para avaliar a possibilidade de implementação do modelo proposto desenvolvemos um protótipo, resumidamente apresentado no próximo tópico, cuja função é coletar dados ambientais, operacionalizar a geração de informações pela execução de processos e atividades de licenciamento e fiscalização, viabilizando a tomada de decisão e solução de problemas com assistência de modelos avançados de IA.

As funcionalidades inicialmente implementadas no protótipo concentram-se na execução de processos de monitoramento, licenciamento, fiscalização, acompanhamento de projetos e na interlocução entre os diversos atores envolvidos (sociedade, governos, empreendedores e especialistas), com aderência à legislação e normas aplicáveis em cada área ambiental específica. A título de exemplo, o protótipo está integrado via API ao ChatGPT, porém a proposta visa a concepção, desenvolvimento e treinamento de modelos próprios para a área ambiental utilizando dados captados pelo sistema.

4. INTERVENÇÃO: SISTEMA DE APOIO À GESTÃO AMBIENTAL

O protótipo do modelo foi desenvolvido com tecnologia Web de última geração e já contempla grande parte dos componentes apresentados na figura 1.

O sistema representado pelo protótipo deverá ser acessível para todos os envolvidos, entre eles cidadãos, técnicos ambientais governamentais, empreendedores, consultores e especialistas. Cada usuário deverá ter acesso aos dados sob sua responsabilidade seguindo os princípios da LGPD, mas compatibilizados com requisitos de transparência da informação; equacionamento necessário de acordo com cada caso de uso. A figura a seguir ilustra uma das interfaces do sistema que permite a coleta de dados relativos a áreas de interesse ambiental.

Figura 2: Formulários para coleta de dados de Áreas de Interesse Ambiental

Fonte: Autoria própria

Merece destaque o registro de ocorrências, como acidentes ambientais (deslizamentos, inundações, incêndios, contaminações etc.) gerando um conjunto de dados históricos e atualizados poderoso, permitindo a emissão de alertas com apoio de modelos especializados de IA quando for detectada alta probabilidade de algum risco ambiental.

A figura 3 ilustra a estrutura de um instrumento de avaliação de impacto ambiental (como EAS, RAP, EIA, RIMA ou equivalente). O sistema deverá permitir a definição de modelos padrão para a geração de “termos de referência” para a elaboração e apresentação

de “estudos de impacto ambiental e equivalentes” em formato múltiplo e semiestruturado a serem apresentados por empreendedores e outros interessados para efeito de licenciamento ambiental. Oportunamente, através do sistema, os dados e conteúdo dos estudos apresentados poderão ser diretamente analisados por modelos de IA que os resumirão e destacarão, em função do tipo de impacto, aspectos do empreendimento e de sua área de influência, permitindo subsidiar decisões quanto a necessidade de alterações, mitigações, compensações ou mesmo o deferimento ou indeferimento de licenças.

Figura 3 – Elaboração e Análise de Estudos de Impacto Ambiental

The screenshot shows a web application interface for 'Portal de Configurações'. The main content area displays a tree view for 'Estudo Ambiental Típico'. The tree structure is as follows:

- Estudo Ambiental Típico
 - INTRODUÇÃO (Introdução)
 - APRESENTAÇÃO (Apresentação do projeto e resumo de suas características principais)
 - TERMO (Informações sobre termos de referência ou diretrizes seguidas)
 - ESTUDO (Apresentação do estudo, estrutura e conteúdo dos capítulos)
 - INFORMAÇÕES (Informações Gerais)
 - LOCALIZAÇÃO (Localização e acessos)
 - EMPRESA (Apresentação da Empresa Proponente)
 - OBJETIVOS (Objetivos e justificativas do Empreendimento)
 - HISTORICO (Histórico do empreendimento e das etapas de planejamento)
 - SEÇÃO (Análise da compatibilidade do empreendimento com a legislação incidente)

Fonte: Autoria própria

O mesmo princípio se aplicaria ao processo de fiscalização, para o caso de infrações, danos e denúncias, apoiando o monitoramento ambiental.

Finalmente, o sistema deverá prover mecanismos de configuração de fluxo de trabalho por finalidade de processos, recursos para recolhimento de taxas, repasses financeiros, prestação de contas, a emissão de diversos tipos de documentos, diversos tipos de relatórios e análises através de resultados gráficos e imagens georreferenciadas.

5. RESULTADOS: POSSIBILIDADES PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

A implantação e operacionalização de um modelo com essa amplitude deve contar com uma estratégia participativa envolvendo os entes mais próximos das áreas de interesse ou afetadas, ou seja, população local, empreendedores, especialistas, o órgão ambiental municipal, governo municipal, escalando, conforme a natureza da intervenção e a complexidade ambiental investigada, para o órgão estadual, governo estadual, órgão federal e governo federal, todos com acesso direto ao sistema, viabilizando rápida comunicação e troca de informações.

Devido à complexidade da implementação e implantação de um sistema com tais características, não será possível abordá-la neste relato. Entretanto, para sua viabilização são necessários casos piloto e provas de conceito em diversas esferas, contemplando diversos níveis de funcionalidades para aprimoramento e validação do modelo.

6. CONTRIBUIÇÃO: TECNOLÓGICA E SOCIAL

Visando a descentralização da gestão ambiental em busca da sustentabilidade local e geral, ponderamos que a implementação do modelo e do sistema proposto consistiriam em um passo fundamental para a evolução e efetivação da instituição de “Sistemas Municipais de Meio Ambiente”, instrumentalizando e capacitando municípios a trabalharem (consorciados ou não) em conjunto com as esferas estadual e federal, bem

como com empreendedores, organizações e populações locais. A comunicação entre os interessados e as esferas de análise e decisão nos níveis municipal, estadual e federal pode ser realizada através do próprio sistema com assistência da IA.

Apesar de muitos municípios não considerarem prioritária a instituição de uma função ambiental, eles correspondem ao nível de governo mais próximo das áreas ambientais afetadas e dos cidadãos. Assim, tem o desafio de influenciar e proporcionar as mudanças de comportamento necessárias, bem como planejar e executar medidas que viabilizem e acelerem o desenvolvimento sustentável local. Através do sistema proposto poderão obter recursos para ajudar a viabilizá-lo, por exemplo, a partir de recolhimentos relacionados a licenciamento e fiscalização ambiental, promovendo respostas mais rápidas e eficientes em todas as áreas do bem-estar populacional (Santos, 2020).

As questões que remetem à responsabilidade socioambiental são globais, e sua compreensão é diferente por parte das empresas e instituições, dependendo dos impactos e da influência dos desafios econômicos, sociais e ambientais a serem enfrentados, bem como dos padrões internacionais e nacionais adotados como referência para o desenvolvimento de cada país.

Os desafios globais e a necessidade de promover uma agenda de desenvolvimento “que atenda às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades”, apontam para a necessidade de mudar comportamentos e adotar novas práticas, tecnologias, éticas e responsabilidades – tanto no setor empresarial como público – e destacam a importância da implementação de um modelo como o proposto, através do qual a informação precisa e rápida habilitará o planejamento, a execução, o controle e o monitoramento ambiental sustentável.

A responsabilidade socioambiental é um processo contínuo e progressivo de desenvolvimento de competências cidadãs, com a assunção de responsabilidades sobre questões sociais e ambientais relacionadas a todos os públicos com os quais as entidades envolvidas na gestão ambiental interagem: trabalhadores, consumidores, governo, empresas, investidores e acionistas, organizações da sociedade civil, mercado, comunidade e o próprio meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Fazenda. **Pacto pela Transformação Ecológica entre os três Poderes do Estado Brasileiro**. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2024/agosto/tres-poderes-da-republica-lancam-pacto-pela-transformacao-ecologica>> Acesso em: 21 ago. 2024.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA) 2024-2028**. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/lccc/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias-1/plano-brasileiro-de-inteligencia-artificial-pbia-2024-2028>>. Acesso em: 08 ago. 2024.
- BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 2.338, de 2023**. Dispõe sobre o uso da Inteligência Artificial. Acesso em 21 jul. 2024, Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/157233>>
- CAVALCANTE, Maria L. S. Albuquerque. **Administração Pública e Agenda Ambiental – A3P - Considerações sobre a implementação nos órgãos públicos**, Revista Controle – Doutrina e Artigos, 2012.
- SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 496 p.
- SANTOS, Carina Angélica dos et al., - **A Evolução da Gestão Ambiental nos Municípios Brasileiros**, Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável, v.6, n.2, jul/dez 2020.