

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 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.

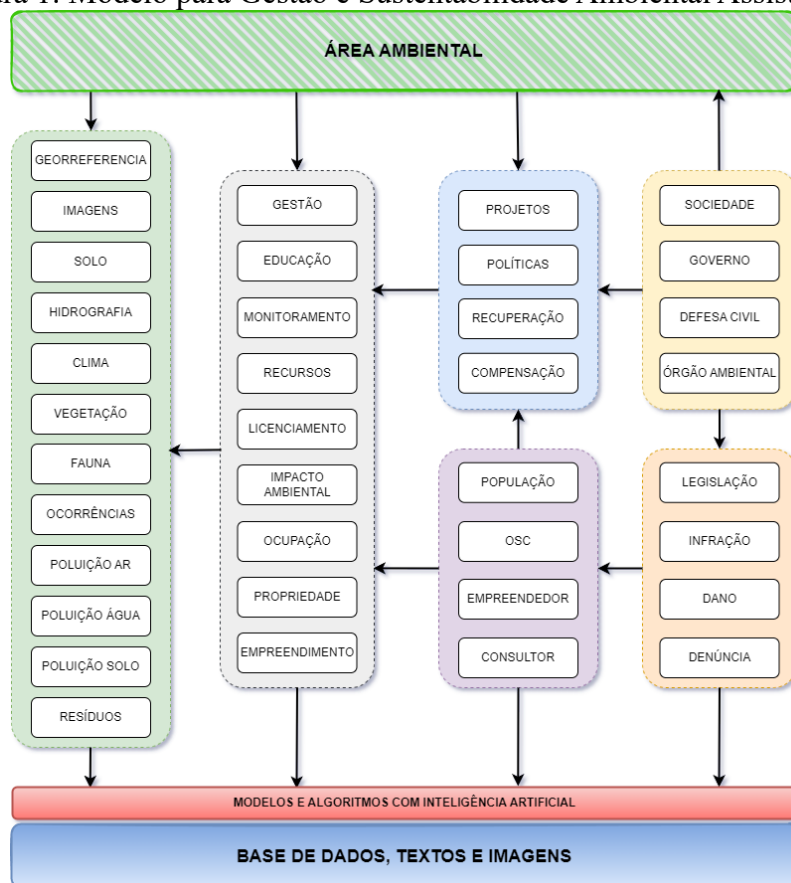
Os sistemas de informação ambientais existentes não precisarão ser reconstruídos, mas precisarão ser rapidamente adaptados, integrados e ampliados para poderem gerar dados e textos para aproveitar os benefícios da IA. Desta forma, além do papel que já

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

A imagem mostra a interface de um sistema web chamado "Portal de Configurações". No topo, há uma barra de navegação com o nome do usuário "Antonio Geraldo da Rocha Vidal" e links para "Ajuda", "Sair" e um ícone de menu. Abaixo, uma barra de navegação secundária contém links para "Home", "Organizações", "Pessoas", "Portal", "Processos", "Documentos", "Configuração", "Dicionários", "Municípios SIAGE" e "Gestão Ambiental". O formulário principal, intitulado "Área de Interesse Ambiental", possui uma barra lateral esquerda com uma árvore de navegação contendo itens como "Cadastro", "Gestão", "Clima", "Nascentes", "Hidrologia", "Vegetação", "Fauna", "Poluição Água", "Poluição Solo", "Poluição Ar", "Ocupação", "InfraEstrutura", "Empreendimentos", "Projetos", "Ocorrências", "Arenos", "Mapa" e "GEO". O formulário em si está dividido em abas: "Área", "Utilização" e "Recuperação". A aba "Área" contém campos para "Nome da Área", "Município", "Nova Área", "Tipo de Área", "Bacia", "Nome da Microbacia", "Localização", "Acesso", "Latitude", "Longitude", "Altitude", "Área", "Comprimento", "Declividade", "Nível de Vulnerabilidade", "Nível de Risco", "Vegetação Predominante", "Descrição Vegetação", "Relevo Predominante", "Descrição Relevo", "Solo Predominante" e "Descrição Solo". No rodapé do formulário, há botões para "Finalizar", "Atualizar", "Retornar" e "Excluir". Na barra de navegação inferior, há links para "Home", "Mensagens", "Usuários", "FIA", "Sobre", "Sistema de Apoio à Gestão Ambiental" e "Portal de Configurações", além de um botão "Sair".

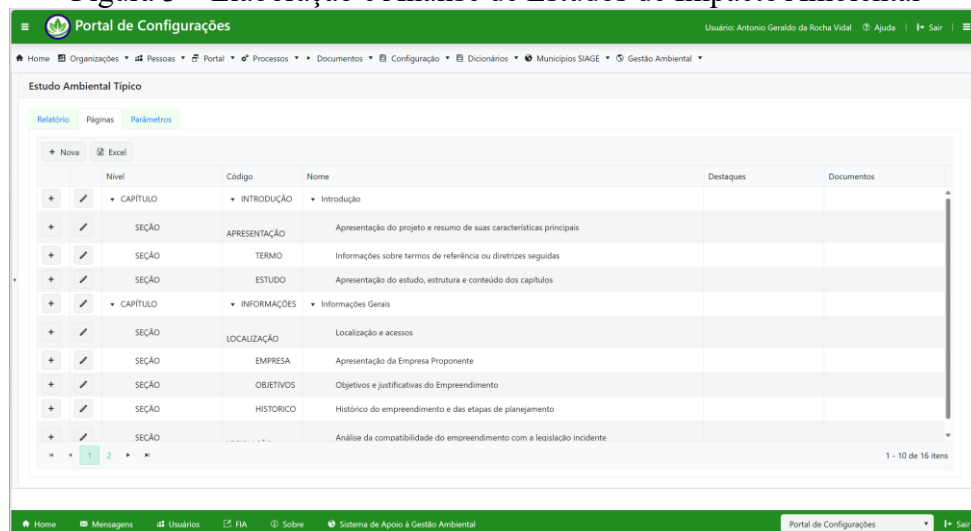
Fonte: Autoria própria

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



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/lbcc/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.