



## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E *SMART MUSEUMS* SUSTENTÁVEIS EM CIDADES INTELIGENTES: O PRESENTE DO FUTURO

Janaina Cardoso de Mello, Universidade Federal de Sergipe

[janainamello.ufs@gmail.com](mailto:janainamello.ufs@gmail.com)

### Resumo

No século XXI o desenvolvimento e disseminação acelerados de tecnologias digitais disruptivas incidu sobre os museus, modernizando os já existentes ou criando espaços tecnológicos de mediação cultural interconectados com diversos serviços urbanos e identificados como *Smart Museums* em conformidade com os projetos de Cidades Inteligentes. Dentre outras indagações, busca-se investigar e “Como os *smart museums* atuam e/ou podem atuar na preservação dos recursos hídricos e conforme os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Organizações das Nações Unidas (ONU)?” Assim, o objetivo geral tratou de compreender a integração de IA e *smart museum* nas Cidades Inteligentes. A metodologia adotada, de caráter qualitativo e exploratório, configurou-se em uma revisão sistemática de literatura (RSL) e estudo de caso de um *Smart Museum* Sustentável na Califórnia, EUA. A Academia de Ciências da Califórnia (CAS) – um Museu de História Natural –, revela-se um laboratório de pesquisas e usos de tecnologias disruptivas em suas explorações científicas. A IA e os *smart museums* são partes importantes nesse todo que é a vida humana em movimento e evolução, do presente para o futuro sem esperar décadas ou séculos por avanços cada vez mais velozes e impactantes.

**Palavras-chave:** *Smart Museum*; Inteligência Artificial; Sustentabilidade; Recursos Naturais.

### 1. Introdução

Do século XVIII ao século XIX, se viu a emergência de coleções de obras de arte de inúmeras tipologias e procedências sendo disponibilizadas por seus proprietários, primeiro para grupos seletos e mais tarde sendo abertas à visitação e fruição cultural pública em museus de inúmeros países. De início os espaços foram configurados como gabinetes de curiosidade até que no século XX alcançassem um viés de profissionalização nas pesquisas e nos funcionários dos museus revertido para a cadeia operatória da Museologia (grosso modo, aquisição, pesquisa, documentação, conservação preventiva, expologia, expografia, educação museal, avaliação de público) passando a apresentar conexões entre os objetos musealizados e reflexões a partir dos sujeitos que recebiam sua comunicação (Borges, 2011; Poulot, 2013).

No século XXI o desenvolvimento e disseminação acelerados de tecnologias digitais disruptivas incidu sobre os museus, modernizando os já existentes ou criando espaços tecnológicos de mediação cultural interconectados com diversos serviços urbanos e identificados como *Smart Museums* em conformidade com os projetos de Cidades Inteligentes. *Locus* de usos de Inteligência Artificial cada vez mais consoante com a geração alpha (nascidos a partir de 2010)



acostumados a usar meios digitais para comunicação, entretenimento, acesso às informações e execução de tarefas educacionais e/ou profissionais (Mello; Silva, 2022).

Diante dessa contextualização contemporânea, são questões de pesquisa no texto: “De que forma o binômio Inteligência Artificial e *Smart Museums* pode integrar os projetos de Cidades Inteligentes e contribuir para o desenvolvimento da qualidade de vida da sociedade?”, “Quais exemplares de *smart museums* já vivem essa experiência?” e “Como os *smart museums* atuam e/ou podem atuar na preservação dos recursos hídricos e conforme os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Organizações das Nações Unidas (ONU)?”

Essas indagações ocorrem essencialmente quando reflete-se sobre a dicotomia da IA nas relações de sustentabilidade, pois, se os algoritmos de IA podem identificar padrões e *insights* para otimizar o uso e a gestão de recursos hídricos, monitorando mudanças climáticas e impactos ambientais, por outro lado, a ampliação da IA pode levar ao aumento de emissões dado o elevado consumo energético e de recursos naturais no processamento de grandes volumes de dados (Big Data) e servidores para armazenamento (*Cloud*) (Equipe eCycle, 2023; Pinsky, 2023).

Os objetivos norteadores dessa pesquisa foram: a) Geral: - Compreender a integração de IA e *smart museum* nas Cidades Inteligentes; Específicos: - Analisar as relações intercambiantes entre Inteligência Artificial e sustentabilidade nos *smart museum* em Cidades Inteligentes; - Identificar os exemplos de *smart museum* já existentes; - Exemplificar a relação entre *smart museum* e tecnologias disruptivas no atendimento de ODS.

Frente às preocupações éticas e socioambientais da atualidade com a proliferação dos usos da Inteligência Artificial no compasso da criação e/ou expansão de Cidades Inteligentes, a forma como a cultura assume o papel não apenas de guardiã de memórias passadas, mas também de gestação de memórias presentes para o porvir, personifica nos museus os receptáculos dessas formulações, os *Hard Drives* (HD) de armazenamento do físico e do intangível selecionados para atender às demandas atuais e do futuro. Entender como esse processo está se historicizando no tempo presente, quem o opera e com quais princípios será postergado para participar de seus processos decisórios constitui um elemento chave do exercício cidadão.

## 2. Fundamentação teórica

Aprovada em 24 de agosto de 2022, durante a Conferência Geral do Conselho Internacional de Museus (ICOM) em Praga, a nova definição de “museu” nasceu da confluência colaborativa que envolveu profissionais de todo o mundo na produção de documentos institucionais e diálogos com a comunidade externa através de fóruns *online*. Desse modo, o resultado aprende “museu” nesse breve século XXI, como:

Um museu é uma instituição permanente, sem fins lucrativos e ao serviço da sociedade que pesquisa, coleciona, conserva, interpreta e expõe o patrimônio material e imaterial. Abertos ao público, acessíveis e inclusivos, os museus



fomentam a diversidade e a sustentabilidade. Com a participação das comunidades, os museus funcionam e comunicam de forma ética e profissional, proporcionando experiências diversas para educação, fruição, reflexão e partilha de conhecimentos (ICOM, 2022).

Apesar do esforço para a atualização da definição em vigor percebida na busca por caracterizar a “acessibilidade”, a “diversidade”, a “sustentabilidade”, a “participação das comunidades” e a “ética”, nota-se a ausência da “tecnologia” como uma palavra-chave fundamental após o enfrentamento da pandemia da Covid19 e o uso massivo dos recursos digitais por escolas, universidades, mercado de trabalho, galerias e museus. A própria elaboração da definição em tela só foi possível ser aberta à ampla participação devido o uso das ferramentas de conexão com a *internet* que permitiram encontros extraterritoriais.

A justificativa para essa ausência tem sido a indisponibilidade tecnológica de vários museus em distintas geografias, o que poderia excluir instituições e sua concorrência em editais de fomento para manutenção e modernização. Entretanto, a invisibilidade da palavra “tecnologia” termina agindo como uma espécie de “salvo conduto” para gestores que não possuem compromisso com o investimento nos equipamentos culturais, quando sua integração ao novo conceito de museu deveria ser entendida como uma estratégia de incentivo e fortalecimento das lutas pela melhoria dos museus nas diversas nações.

Por outra perspectiva, a inclusão da palavra “sustentabilidade” abre as portas para um debate maior sobre teoria e prática da questão ambiental nos museus que são também laboratórios de educação e conscientização da sociedade, fortalecendo seu papel como aliado na preservação do ecossistema da vida na terra.

À visão tridimensional do desenvolvimento sustentável centrado em crescimento econômico, inclusão social e equilíbrio do meio ambiental, acrescentou-se uma quarta dimensão, a cultura, entre os anos de 2001 e 2005, tendo em vista a importância da criatividade, o conhecimento crítico, o sentido de pertença e outras ferramentas e habilidades necessárias para entender o mundo e transformá-lo dentro dos princípios da sustentabilidade para todos (Bacci; Silva, 2020, p. 36).

Ressalta-se que “a sustentabilidade importa em transformação social, sendo conceito integrador e unificante. Isso implica na celebração da unidade entre homem e natureza, com origens e destinos comuns. O que pressupõe um novo paradigma” (Cruz; Ferrer, 2020, p.16).

O conceito de sustentabilidade desdobra-se ainda em algumas categorias, à saber:

**Quadro 1 – Categorias de Sustentabilidade**

Categorias	Definição
	Construção de uma civilização com a redução de desigualdades sociais, com equilíbrio na distribuição de riquezas para as gerações atuais



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

<b>Sustentabilidade Social</b>	e futuras utilizá-las para produzir e suprir suas necessidades. Diz respeito ainda ao alcance de: criação de postos de trabalho com melhores condições de vida; igualdade entre gêneros; incorporação da mulher no mercado, na política e no bem-estar social; universalização no acesso e direito de todos às políticas públicas (saúde, educação, habitação, seguridade social).
<b>Sustentabilidade Ecológica</b>	Uso dos ecossistemas com sua mínima destruição, permitindo à natureza realizar novos equilíbrios de recomposição, obedecendo seu ciclo natural de vida e renovação, preservando fontes de recursos energéticos e naturais, modificando os padrões de produção e consumo para a valorização de produtos gerados em processos socialmente justos e pautados no equilíbrio ambiental.
<b>Sustentabilidade Política</b>	Fortalecimento das instituições democráticas e promoção da cidadania ativa estimulando a participação da sociedade nas decisões políticas, o equilíbrio entre os ambientes rurais e urbanos, a superação das desigualdades e a apropriação universal dos direitos humanos.
<b>Sustentabilidade Cultural</b>	Equilíbrio entre o respeito à tradição e as buscas por inovações tecnológicas. Que a busca por novos modelos de desenvolvimento preze a pluralidade de soluções e a valorização da diversidade das culturas locais, respeitando as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada local.
<b>Sustentabilidade Econômica</b>	Gestão eficiente de recursos econômicos e naturais, buscando o desenvolvimento local dentro de um equilíbrio de toda a sociedade. Novos rumos para uma economia que se organize a partir da base social, voltada para a distribuição de riqueza e benefícios para toda a sociedade em termos de bem-estar e qualidade de vida. Investimentos na segurança alimentar e na Economia Solidária.

Fonte: Mônica Serrão, Aline Almeida, Andréa Carestiato, 2014

Entretanto, nos tempos atuais se pode e deve falar em “**Sustentabilidade Tecnológica**” uma vez que a produção de *softwares* e *hardwares* envolve aumento de consumo, descarte de baterias e outros materiais danosos ao solo, aos lençóis freáticos, rios e mares, ao tornarem-se resíduos poluentes, sem a devida reciclagem. Isso posto que,

[...] a tecnologia é determinante para entender o comportamento, atual e, sem dúvida, futuro, da espécie humana. Com efeito, a capacidade para captar e gerir o conhecimento do *homo sapiens*, somada à habilidade do *homo faber* para criar artefatos, tem dado lugar a uma nova dimensão da natureza humana. Hoje, o Homem é um *homo technologicus*, pois desenvolve a sua vida em função dos utensílios que projeta e constrói. E se desenvolve, coletivamente, numa tecnossociedade (Cruz; Ferrer, 2020, p. 18).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Assim, ao abordar a sustentabilidade tecnológica há uma transversalidade desta nas outras categorias definidas anteriores (quadro 1), já que a tecnologia perpassa o social, o ecológico, a política, o cultural e a economia. Nesse aspecto, para que a tecnologia possa ser bem utilizada para o benefício da sociedade e preservação do ambiente, há que se atentar para: 1. O enfrentamento de riscos difusos (acidentes, crise ética, corrupção, exclusão, terrorismo, mercado paralelo de nanotecnologia, 2. Sua disponibilização para a sociedade (evitar o tráfego de tecnologias obsoletas e prejudiciais para países emergentes; apoiar (Cruz; Ferrer, 2020, p. 22-28).

Sob esse aspecto, o maior desafio da tecnologia será estabelecer seu “[...] compromisso com a pessoa e a sociedade na busca de alternativas administrativas, políticas, jurídicas, econômicas e sociais visando a qualidade de vida para as pessoas e a estabilidade para as corporações” (Demarchi, 2020, p. 102). Posto que,

A sustentabilidade das cidades é, hoje, evidenciada pela constituição de redes de parcerias, provenientes de diferentes áreas do conhecimento, com predomínio na tecnológica. Estes parceiros dispõem-se a reconfigurar o território, à mercê das exigências dos seus utilizadores, das instituições e da estrutura política. A mediação entre estes agentes de poder afirmou-se fundamental para fazer face aos desafios colocados pela globalização e pelos fluxos migratórios (Valente; Elias, 2019, p. 33).

As Cidades Inteligentes entendidas como espaço urbano cuja configuração em rede, as plataformas digitais, a abordagem sistêmica, as soluções integradas e inovadoras são disponibilizadas para resolução de problemas cotidianos à exemplo de: abastecimento de produtos e serviços, usos e ocupação do espaço público na utilização de serviços públicos e privados, desenvolvimento de tecnologias sociais e modos de participação social em relação ao orçamento da cidade, distribuição mais justa, mudanças necessárias e sustentabilidade (Cortese *et ali.*, 2019, p. 138).

Ao tratar das Cidades Inteligentes, os pesquisadores Martina Jakubčínová, Katarína Štefčíková e Andrej Poruban (2023, p. 66) salientam que a vontade de implementar tecnologias e plataformas (de ponta) que garantam a utilização máxima das TI no ambiente de governo local gera a expectativa da transformação digital e a automatização dos governos locais, com um grande impacto nestas unidades em comparação com o modelo de governação obsoleto dos tempos passados. Porém, são imprescindíveis as capacidades dos seus representantes se adaptarem a novos ambientes e circunstâncias. Assim, não basta somente a expansão da tecnologia de ponta e das infraestruturas físicas, como edifícios, transportes, logística e economia, mas a mudança de mentalidade orientada.

Ainda sobre a arquitetura das Cidades Inteligentes, os pesquisadores Sharma, Rahamatkar e Rathore (2023, p. 1-2) a descrevem como possuindo: infraestrutura física, sistema de rede, centro de computação, sistema de armazenamento de dados, aplicativos e plataformas para conexão digital rápida, eficiente e autoinstrucional, integração e segurança digital e uso de casos

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

de domínio de nível superior (TDL) capazes de centralizar e integrar o controle das ações (serviços e produtos), serviços de mobilidade inteligentes, interface de comunicação inteligente, sistema de iluminação inteligente, sistema de gerenciamento inteligente de desperdício, agricultura inteligente, sistema de monitoramento da poluição do ar, gerenciamento adaptativo de tráfego e melhoria no sistema de monitoramento ambiental, dentre outras possibilidades.

Nas cidades inteligentes, dispositivos, sensores e sistemas são integrados na infraestrutura urbana para coletar dados em tempo real sobre vários aspectos, como fluxo de tráfego, consumo de energia, gestão de resíduos e qualidade do ar (Wolniak; Gajdzik; Grebski, 2023, p. 754). Por isso, para o bom funcionamento das Cidades Inteligentes é importante ter atenção aos dados interconectados às tecnologias de comunicação. Desse modo, a capacidade de processar adequadamente o grande volume de dados (*Big Data*) que circulam de modo operacional têm aderido ao uso de ferramentas digitais de Inteligência Artificial (IA) como *Machine Learning* e *Deep Learning* (Sharma; Rahamatkar; Rathore, 2023, p. 3-4).

Termo que ao longo do tempo se tornou desenvolvimento tecnológico e aplicação, à exemplo de Inteligência Artificial e seu desdobramento em *Machine Learning* e *Deep Learning*, datam da década de 1950 quando o matemático Alan Turing buscou comprovar a manifestação de inteligência nas máquinas de computação. O teste de Turing no “jogo da imitação” propunha que se uma máquina fosse capaz de desempenhar uma função de modo tão eficiente que fosse confundida com o comportamento humano, ela deveria ser compreendida como “inteligente” (Schmidt; Huttenlocher; Kissinger, 2023, p.50).

Ainda na mesma década, em 1956, John McCarthy, e outros pesquisadores da ciência da computação, durante um *Workshop* em Dartmouth College, na cidade de Hanover, no estado de New Hampshire no Estados Unidos, definiram “inteligência artificial” como “máquinas que são capazes de realizar tarefas características da inteligência humana” (Schmidt; Huttenlocher; Kissinger, 2023, p.50).

Entre a animação com a IA e a tecnologia ainda não amadurecida o suficiente para seu desenvolvimento pleno, houve invernos de ostracismo nos investimentos em IA que somente no século XXI, quando um conjunto de tecnologias disruptivas – capazes de transformar o modo como a sociedade se comunica, executa tarefas bancárias, educacionais e comanda objetos ao seu redor – dada a sofisticação das conexões via Wi-fi, dos *smartphones*, da Internet das Coisas (IoT), do armazenamento em nuvens (*cloud*), e de uma mudança de mentalidade na adoção de *hardwares* e *softwares* de nova geração, se alcançando a hiperconectividade humana, as pesquisas no campo do *Machine Learning* avançaram com rapidez e consistência. Assim,

O aprendizado de máquina (do inglês, *machine learning*) é um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos. É um ramo da IA, baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana (Morais, 2020, p.155).



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento  
23/11 | 100% online  
24/11 | e gratuito

A partir da evolução do somatório de tecnologias digitais, da IA e do *Machine Learning*, uma subárea desta última, o aprendizado profundo (*deep learning*) que permite o processamento de enormes quantidades de dados para encontrar relacionamentos e padrões frequentemente impossíveis de serem detectados pelos seres humanos. São as camadas ocultas na rede neural que fornecem grande parte do poder da aprendizagem de máquina (Taulli, 2020, p. 98).

Esse contexto tecnológico também se aplica ao conceito de museu, uma vez que atuou como catalisador na digitalização de museus. Destarte, os museus têm buscado aprimorar seus métodos de gestão, interpretação e representação através da digitalização, da criação de redes e da inteligência, sugerindo um movimento no sentido da integração, apresentação e entrega contínuas de recursos do patrimônio cultural. No século XXI, o Museu Inteligente (*Smart Museum*) promove um paradigma digital no qual os museus integram novas tecnologias com percepção abrangente, interconexão onipresente e aplicações sincréticas (Wang et al., 2023, p. 1340).

Conceitualmente compreende-se que “[...] um museu inteligente pode controlar automaticamente o ambiente de transmissão de informações, exposição e preservação, o que pode proporcionar experiências diversas e pessoais ao público” (Peng, 2022, p. 38).

*Smart Museums* não são exclusividade de localidades onde há Cidades Inteligentes, pois muitas vezes eles às precedem. Todavia, podem ser um fator para impulsionar a transformação dos espaços urbanos nessa direção. Desse modo, observam-se exemplos nos quais adotam-se ferramentas e estratégias digitais de *smart museum* na solução de problemas contemporâneos.

Com a pandemia da Covid19, os museus no mundo todo precisaram se adequar às ferramentas digitais com maior ou menor grau de sofisticação e investimento para alcançar seu público durante os períodos de distanciamento social. Muitos aderiram aos processos de digitalização dos espaços criando “metaversos museais” (museus digitais) por onde se é possível caminhar, rotacionar objetos em expositores, acessar vídeos e documentos, além de trilhas sonoras ou explicações em áudio multilíngue, obtendo uma experiência imersiva cultural. Outros, optaram por uma digitalização estática, com rotação 360° de suas instalações a partir de *softwares* com visão panorâmica e houve ainda aqueles, com menos recursos financeiros, organizaram painéis fotográficos digitais de suas salas e acervos, em grande parte com imagens feitas nos celulares dos próprios profissionais dos museus. A criação de aplicativos para smartphones ou de games sobre a instituição ou acervo museal para a manutenção de visitas virtuais e da educação museal também foram estratégias de sobrevivência ao fechamento de portas.

O processo de “digitalização dos museus refere-se à uso de fotografias, imagens e laser tridimensional técnicas de digitalização baseadas em museus físicos para exibir coleções de museus e exposições em formato digital” (Pei; Liu, 2019, p. 1020).

Museus condicionam o patrimônio cultural material de diversos povos contendo a missão de preservá-los e divulgá-los para habitantes e visitantes (turistas) das cidades. Por isso, a incorporação destes nos projetos das cidades inteligentes parte da premissa de que “o patrimônio



cultural seria uma parte essencial das cidades, e o apoio das tecnologias para sua redescoberta e preservação constituiriam uma ‘atitude patrimonial inteligente’” (Castro; Baracho, 2020, p. 313).

Além das características de conexões digitais na urbe e da preservação da memória e da cultura, é importante verificar a relação desses museus com os princípios de sustentabilidade ambiental, uma vez que quando museus físicos, sua infraestrutura deve ser pensada para atender as demandas de uso de energias renováveis, minorar a produção de resíduos, pensar em seu descarte e em alternativas recicláveis, atenuar o consumo hídrico, coadunar com a natureza (de seus materiais construtivos até sua inserção na paisagem), promovendo uma educação *smart* museal também com essa finalidade.

Quer na arquitetura, no design interior, nos suportes expositivos e na aquisição de acervos, o material do qual são feitos ou integrados deve ser muito bem considerado, pois, como ressaltaram Debora Barauna e Dalton Luiz Razera (2018, p. 62):

[...] em um universo de aumento de complexidade e de níveis de insustentabilidade do planeta, com a escassez das fontes de fornecimento material, é preciso reavaliar as demandas para replanejar o uso dos recursos materiais por novos sistemas e processos que resultem em soluções sustentáveis para a sociedade.

Os processos de automação associados à IA nos *smart museums* podem ajudar ou atrapalhar na defesa da sustentabilidade social, ecológica, política, cultural, econômica e tecnológica. Principalmente considerando-se um *smart museum* em uma cidade inteligente. Tudo dependerá das decisões tomadas e das ações executadas, abrangendo interesses e participantes dessas.

### 3. Metodologia

A metodologia deve apresentar as características da pesquisa, os procedimentos para a coleta de dados e a técnica de análise dos dados.

O estudo em tela, de caráter qualitativo e exploratório, configurou-se como uma revisão sistemática de literatura (RSL) e estudo de caso, tendo em vista que o objeto desta pesquisa ainda é recente e pouco estruturado nas publicações científicas sobre o tema. Assim, constituiu-se um protocolo específico de pesquisa, seguindo as etapas elencadas: a) elaboração das questões de pesquisa; b) levantamento dos estudos necessários; c) seleção e avaliação dos dados encontrados; d) análise e síntese das informações coletadas.

Os dados foram tratados com a análise crítica comparativa de conteúdo, a partir de textos de artigos, dissertações e teses acadêmicas e informações em *sites* confiáveis. Foram então elaborados quadros teóricos e técnicos, bem como as imagens necessárias ao estudo de caso foram incorporadas ao texto a partir de sua relação direta com as explicações norteadoras das informações que contêm.



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

#### 4. Resultados

A relação entre *smart museum* e sustentabilidade como projetos exitosos em cidades inteligentes ou em vias de se tornarem inteligentes é mensurada pelas características não apenas tecnológicas digitais de comunicação e gestão, mas pelos aspectos construtivos na otimização do desempenho institucional sem prejuízo do ambiente.

Por isso, foi selecionada a Academia de Ciências da Califórnia (CAS), como um modelo de estudo de caso de um *Smart Museum* Sustentável, revitalizado em suas estruturas arquitetônicas e aplicação de IoT e Inteligência Artificial em sua gestão institucional e expográfica, em diálogo com as demandas do século XXI.

**Quadro 2 – Smart Museum Sustentável**

Smart Museum Sustentáveis	Localidade	Características
Academia de Ciências da Califórnia	Golden Gate Park em San Francisco, Califórnia, Estados Unidos. Link: <a href="https://www.calacademy.org/">https://www.calacademy.org/</a>	Museu de História Natural com mais de 26 milhões de espécimes em seu acervo. A arquitetura advém da revitalização de dois edifícios, com um visual transparente devido aos painéis de vidro que permitem a iluminação natural, sendo a sombra fornecida por um dossel que gira em torno do prédio, com painéis solares sobre ele. Configura-se como um projeto de “ <i>Green Building</i> ”, tendo o propósito de consumir entre 30% e 35% a menos de energia. Recebeu a certificação LEED platina ( <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i> ). A estrutura conservou duas paredes de calcário do edifício anterior (1934) e abriga um planetário, um habitat da floresta tropical e um aquário, além dos espaços expositivos para as várias coleções da Academia. Inaugurado em 2008, o planetário e a bolha com o habitat da floresta tropical são duas grandes esferas que formam o telhado verde, que se torna uma paisagem com espécies nativas da Califórnia, que não precisará de manutenção ou água além do necessário, atraindo espécies locais para ocupá-lo.

Fonte: DELAQUA, 2012;

A Academia de Ciências da Califórnia foi muito bem planejada pelo arquiteto Renzo Piano em diversos quesitos de sustentabilidade ecológica inteligente, assim, com relação ao calor e à umidade (temperatura) do espaço o aquecimento pelo piso radiante foi adotado para

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

reduzir o gasto energético em 5-10%; os sistemas de recuperação de calor são capazes de capturar e utilizar o calor gerado por equipamentos de climatização, diminuindo o consumo de energia de aquecimento e o telhado verde pode fornecer uma cama de isolamento térmico superior à construção, amortizando o consumo de energia para ar-condicionado (fig. 1, 2 e 3). Vidros de alto-desempenho distribuídos por todo o edifício, reduzem os níveis normais de absorção de calor e diminuem a carga de arrefecimento e os Sistemas de Umidificação por Osmose Reversa são utilizados para manter as coleções de pesquisa em constante de umidade, abreviando o consumo de energia por umidificação em 95% (fig. 1, 2 e 4) (Delaqua, 2012).

**Figuras 1 e 2**– Academia de Ciências da Califórnia (CAS): Projeto Arquitetônico Fachada e Corte



**Fonte:** Renzo Piano, s/d.

Tendo 90% dos espaços com luz natural, possui vista para o exterior e ventilação provida por uma cobertura ondulante de onde flui ar fresco da praça aberta para o centro do edifício e o difunde aos demais ambientes. As claraboias no telhado ao abrir e fechar automaticamente expõem o ar quente através do topo dos domus, reduzindo a utilização de energia e o calor da iluminação elétrica. A localização estratégica das claraboias permite a entrada da luz do sol até a floresta tropical viva e o recife de corais. A Internet das Coisas (IoT) dos fotossensores no sistema de iluminação escurecem automaticamente as luzes artificiais em resposta à penetração da luz do dia e reduz a energia usada nos espaços interiores (fig. 1 e 2) (Delaqua, 2012).

O projeto busca o máximo aproveitamento da energia renovável. A copa solar da cobertura possui 60.000 células fotovoltaicas para suprir quase 213.000kWh de energia limpa por ano (5% da energia da CAS), impedindo a liberação de mais de 405.000 quilos de emissões de gases do efeito estufa por ano. As células multicristalinas alcançam aproximadamente 20% de eficiência energética. A IoT nas torneiras com sensores nos banheiros se “autocarregam” a cada



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

utilização. A água corrente faz com que a turbina interna gere energia e recarregue a bateria, utilizando os recursos hídricos de modo inteligente (Delaqua, 2012).

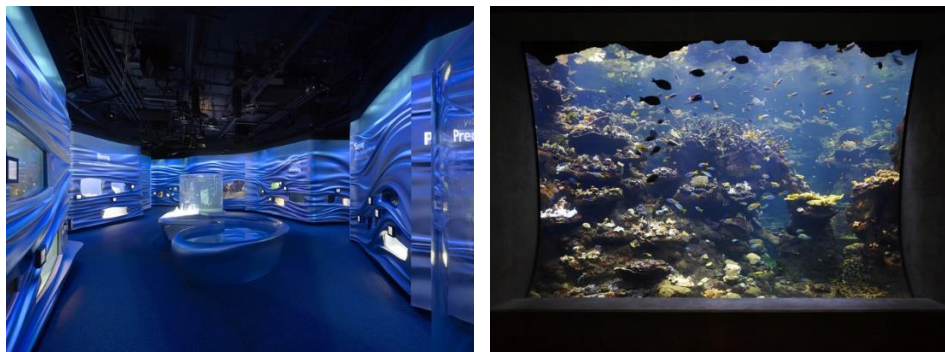
**Figuras 3 e 4** – Academia de Ciências da Califórnia (CAS): Vista aérea e Entrada



Fonte: Tim Griffith, s/d.

A eficiência do manejo dos recursos hídricos ocorre na absorção de águas pluviais, a cobertura da CAS evita o despejo anual de até 3,6 milhões de galões de água poluída no ecossistema (quase 98% da água da chuva). A água recuperada de San Francisco é reconvertida para lavar os banheiros, reduzindo o uso de água potável em até 90%. Em razão das instalações de baixo fluxo e o uso de água recuperada, o consumo perfaz 30% a menos de água potável. A água salgada do aquário é canalizada do Oceano Pacífico, minimizando o uso de água potável nos sistemas do aquário. Os resíduos de nitrato purificam os sistemas naturais, reciclando a água do aquário (fig. 5 e 6) (Delaqua, 2012).

**Figuras 5 e 6** – Academia de Ciências da Califórnia (CAS): Planeta água e recife de corais



Fonte: Tim Griffith, s/d.

Da mesma forma que o MIT *Museum* de Massachussets, EUA, se tornou um laboratório de pesquisas e estudos em Inteligência e Artificial, a Academia de Ciências da Califórnia (CAS) – enquanto um Museu de História Natural –, também se configura como um laboratório de pesquisas e usos de tecnologias disruptivas em suas explorações científicas no fundo do Oceano



PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Índico e nas ações educativas sobre a correlação da saúde das sociedades humanas e a preservação dos mares, o respeito à biodiversidade e ecossistema marinhos, o cuidado com o descarte de resíduos urbanos não tratados, a busca pela redução do efeito climático na redução das calotas polares e elevação do nível do mar ameaçando a habitação em cidades costeiras (fig. 7 e 8).

**Figuras 7 e 8** – Academia de Ciências da Califórnia (CAS): Planeta água e recife de corais



**Fonte:** California Academy of Sciences, 2023.

Em relação ao uso de materiais de construção reciclado na arquitetura, mais de 90% dos resíduos da demolição dos antigos edifícios da CAS foram reciclados. 9.000 toneladas de concreto foram reutilizadas na construção da estrada de Richmond, 12.000 toneladas de aço foram recicladas e mandadas para a Schnitzer Steel, e 120 toneladas de lixo verde foram recicladas no local. Ao menos 50% da madeira da nova CAS foram colhidas de forma sustentável e certificadas pelo Forest Stewardship Council. Aço reciclado foi utilizado em 100% do aço estrutural do edifício. O isolamento instalado nas paredes do edifício foi feito com jeans reciclado, um produto com 85% de teor pós-industrial reciclado e que utiliza o algodão, um recurso renovável rapidamente, como um dos seus ingredientes principais. Todo o concreto incorporou 30% de cinzas, um subproduto das indústrias de carvão. Ele também contém 20% de escória, um produto residual da fundição de metal (Delaqua, 2012).

Desde 2018 a Academia de Ciências da Califórnia e a National Geographic Society uniram forças para aperfeiçoar a rede global de observação da vida selvagem *iNaturalist*, uma plataforma de ciência cidadã com o uso de Inteligência Artificial para alimentar e processar informações do monitoramento de mais de 165 mil espécies no mundo (National Geographic, 2018).

O recurso digital à época foi acessado por mais de 10.5 milhões de usuários de forma interativa e conscientizadora, pois

A IA do *iNaturalist* aprendeu a reconhecer mais de 24.000 plantas e animais analisando mais de 6,5 milhões de fotografias enviadas por não-cientistas em todo o mundo. Cada fotografia é acessível a toda a comunidade, que inclui especialistas de diversas organizações, conhecimentos e disciplinas (National Geographic, 2018).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Ao redor do *Smart Museum* Sustentável (CAS) várias cidades californianas buscam o desenvolvimento de tecnologias digitais de ponta para apresentarem soluções inteligentes em suas demandas cotidianas. Desse modo, o exemplo do investimento de Moreno Valley em tecnologias de monitoramento de segurança pública como a *Hitachi Visualization* (Ti Inside, 2019) ou o esforço da cidade de Santa Ana, no condado de Orange, usando o sistema de micro purificação da água e seu reuso atendendo à uma população de 330.000 habitantes com uma economia de 230 milhões de litros de água que deixaram de ser desperdiçados (Estúdio ABC, 2015/2017).

O espírito das tecnologias digitais associada à resolução de problemas sociais, econômicos, culturais e ecológicos das sociedades impulsiona a transformação dos espaços de moradia em cidades inteligentes, desde que haja o envolvimento da comunidade no diálogo com gestores e desenvolvedores de inovações. A IA e os *smart museums* são parte importante nesse todo que é a vida humana em movimento e evolução, do presente para o futuro sem esperar mais algumas décadas ou séculos por avanços cada vez mais velozes e impactantes.

## 5. Conclusões

É importante aprofundar a argumentação nas conclusões, além de mencionar se o objetivo do estudo foi plenamente atendido. Incluir sugestões de continuidade do trabalho.

O binômio Inteligência Artificial e *Smart Museums* pode integrar os projetos de Cidades Inteligentes e contribuir para o desenvolvimento da qualidade de vida da sociedade através de vários recursos digitais de compartilhamento de conhecimentos sobre a sustentabilidade do ambiente à exemplo de aplicativos e educação museal para conscientização sobre recursos hídricos a partir de pesquisas realizadas pela equipe do espaço que se torna um grande laboratório de ciências, além de espaço expositivo.

A Academia de Ciências da Califórnia (CAS) é um exemplo de *smart museum* sustentável desde seu projeto arquitetônico até a forma como conduz as ações de integração com a natureza atendendo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) à exemplo dos: 11° Cidades e comunidades sustentáveis; 12° Consumo e produção responsáveis; 13° Ação contra a mudança global do clima; 14° Vida na água; 15° Vida terrestre. Considerando-se os esforços do museu para o reuso de água e a adoção de energias renováveis.

A opção por um projeto construtivo que permita o reaproveitamento da água e a maximização da luz solar e do vento, diminuindo o desperdício hídrico e o uso de climatização; o gerenciamento responsável dos resíduos da demolição e construção da nova estrutura com reciclagem; a otimização do uso de materiais para o menor impacto ambiental; a melhoria do isolamento para redução do consumo energético através de tetos verdes e placas fotovoltaicas; a realização de manutenção sustentável depois da conclusão da obra são essenciais para que a CAS alcançasse seu objetivo.



Estudos futuros pretendem aprofundar essas questões trazendo dados comparativos de outros *smart museums* sustentáveis como o Museu do Amanhã (RJ, Brasil) e o Biomuseu no Panamá.

## 6. Agradecimentos

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec/SE).

## 7. Referências bibliográficas

CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES. **Hope for Reefs**. Disponível em: <https://www.calacademy.org/major-initiatives/hope-for-reefs>. Acesso em: 20 out. 2023.

BACCI, D. L. C.; SILVA, R. L. F. A cultura da sustentabilidade nas instituições de ensino superior. In: GRANDISOLI, E. *et al.* (org.) **Educar para a sustentabilidade**: visões de presente e futuros. [Recurso eletrônico]. São Paulo: IEE-USP: Reconnectta: Editora Na Raiz, 2020. cap. 2, p. 34-54.

BARAUNA, D.; RAZERA, D. L. Sustentabilidade, desenvolvimento e Inovação no século 21: demandas para o design de materiais avançados. In: ARRUDA, A. J. V; FERROLI, P.C. M.; LIBERLOTTO, L. I. (org.) **Design, artefatos e sistema sustentável**. São Paulo: Blucher, 2018. cap. 3, p. 61-85.

BORGES, M. E. L. (Org.). **Inovações, coleções, museus**. Belo Horizonte: Autêntica, 2011.

CASTRO, J. M.; BARACHO, R. M. A. O patrimônio cultural nas cidades inteligentes. **Em Questão**, vol. 26, Nº 3, 2020, p. 298-326, 2020.

CORTESE, T. T. P. et ali. Tecnologias e sustentabilidade nas cidades. **Estudos Avançados**, 33 (97), p. 137-150, 2019.

CRUZ, P. M; FERRER, G. R. Direito, sustentabilidade e a premissa tecnológica como ampliação de seus fundamentos. In: SILVEIRA, A.; ABREU, J. C.; COELHO, L. A. (coord.) **Sustentabilidade tecnológica**: o papel das tecnologias digitais na promoção do desenvolvimento sustentável. Braga: Escola de Direito/ Universidade do Minho, 2020. cap. 1, p. 6-28.

DELAQUA, V. Academia de Ciências da Califórnia / Renzo Piano. **ArchDaily Brasil**. 23 mai. 2012. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-50160/academia-de-ciencias-da-california-renzo-piano>. Acesso em: 12 out. 2023.





DEMARCHI, C. Sustentabilidade tecnológica e dignidade humana: onde fica a pessoa neste contexto? In: SILVEIRA, A.; ABREU, J. C.; COELHO, L. A. (coord.) **Sustentabilidade tecnológica: o papel das tecnologias digitais na promoção do desenvolvimento sustentável**. Braga: Escola de Direito/ Universidade do Minho, 2020. cap. 9, p. 96-103.

EQUIPE ECYCLE. **Inteligência artificial e sustentabilidade**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/inteligencia-artificial/>. Acesso em: 15 ago. 2023.

ESTÚDIO ABC. Conheça 3 cidades inteligentes pelo mundo. **Exame**, Tecnologia. Disponível em: <https://exame.com/tecnologia/conheca-3-cidades-inteligentes-pelo-mundo/>. Acesso em: 20 out. 2023.

ICOM – International Council of Museums. **Nova Definição de Museu**. 2022. Disponível em: [https://www.icom.org.br/?page\\_id=2776](https://www.icom.org.br/?page_id=2776). Acesso em: 15 ago. 2023.

JAKUBČINOVÁ, M.; ŠTEFČÍKOVÁ, K.; PORUBAN, A. The concept of a smart city management in the light of the literature review. **Zarządzanie**, n° 51, p. 65-79, 2023.

MELLO, J. C.; SILVA, E. P. S. Museus e Patrimônio Cultural na Transformação Digital: o Ensino de História no século 21. In: Janaina Cardoso de Mello. (Org.). **Caleidoscópio de Clio: saberes históricos em diferentes espaços de memória**. 1ed. Belém: RFB, 2022, v. 1, p. 37-55.

MORAIS, F. **Transformação Digital**. Como a inovação pode nos ajudar nos negócios nos próximos anos. São Paulo: Saraiva Educação, 2020.

NATIONAL GEOGRAPHIC. The California Academy of Sciences and National Geographic Society Join Forces to Enhance Global Wildlife Observation Network iNaturalist. **National Geographic Society Newsroom**, 26 jun. 2018. Disponível em: <https://blog.nationalgeographic.org/2018/06/26/the-california-academy-of-sciences-and-national-geographic-society-join-forces-to-enhance-global-wildlife-observation-network-inaturalist/>. Acesso em: 20 out. 2023.

PEI, S.; LIU, X. The Influence of Modern Information Technology on the Future of Museums. **Advances in Social Science, Education and Humanities Research**, Vol. 356, 2019, p. 1020-1023.

PENG, J. Research on the Transformation of Smart Museums Under the Internet Thinking: A Case Study on the Palace Museum. **Art and Society**, Paradigm Academic Press, Vol. 1, N° 1, 2022, p. 37-45.



PINSKY, V. **Inteligência Artificial e Meio Ambiente: negócios, riscos e oportunidades**. 11 ago. 2023. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/intelig%C3%A2ncia-artificial-e-meio-ambiente-neg%C3%B3cios-riscos-pinsky#:~:text=%F0%9F%94%B4%20Riscos%20E2%80%93%20IA%20e%20Meio%20Ambiente&text=Em%20meio%20ambiente%2C%20o%20impacto,dados%20e%20servidores%20para%20armazenamento>. Acesso em: 20 out. 2023.

POULOT, D. **Museu e Museologia**. Belo Horizonte: Autêntica, 2013.

SCHMIDT, E.; HUTTENLOCHER, D.; KISSINGER, H. A. **A Era da IA e nosso futuro como humanos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2023.

SERRÃO, M.; ALMEIDA, A.; CARESTIATO, A. **Sustentabilidade: uma questão de todos nós**. São Paulo: SENAC Nacional, 2014.

SHARMA, N. K.; RAHAMATKAR, S.; RATHORE, A.S. Role and Applications of Emerging Technologies in Smart City Architecture Check for updates. In: ROY, B. K. et al. (ed.) **Cryptography and Network Security with Machine Learning: Proceedings of ICCNSML 2022**. Singapore: Springer, 2023.

TAULLI, Tom. **Introdução à Inteligência Artificial**. Uma abordagem não técnica. São Paulo: Novatec, 2020.

TI INSIDE. **Cidade da Califórnia investe em tecnologia para melhorar a Segurança Pública**. 7 mar. 2019. Disponível em: <https://tiinside.com.br/07/03/2019/cidade-da-california-investe-em-tecnologia-para-melhorar-a-seguranca-publica/>. Acesso em: 20 out. 2023.

VALENTE, C.; ELIAS, H. As *smart-cities* e a arte pública. O contributo da curadoria no universo digital. **Forum Sociológico** [Online], Série II, n° 35, 2019, p.31-39. Disponível em: <http://journals.openedition.org/sociologico/8105>. Acesso em:

WANG, S. *et al.* Smart Museum' in China: From technology labs to sustainable knowledgespaces. **Digital Scholarship in the Humanities**, Vol. 38, N° 3, 2023, p. 1340–1358. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/lhc/fqac097>. Acesso em: 10 out. 2023.

WOLNIAK, R.; GAJDZIK, B.; GREBSKI, W. The implementation of Industry 4.0 concept in Smart City. **Scientific Papers of Silesian University of Technology** n° 178, 2023, p. 753-770.