



# Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente

Manifesto SBC



A SUSTENTABILIDADE DO PLANETA É  
UM DEVER DE TODOS.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO

**TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA O MEIO AMBIENTE: MANIFESTO SBC**

Diagnóstico inicial sobre tecnologias  
digitais para a sustentabilidade do planeta.

Porto Alegre  
Julho/2022



## Créditos de elaboração

A Sociedade Brasileira de Computação (SBC) constituiu uma força-tarefa a fim de contribuir com a preparação de um diagnóstico inicial sobre tecnologias digitais para a sustentabilidade do planeta. Este documento é o resultado das atividades da força-tarefa, a qual iniciou em 09 de setembro de 2021 e manteve reuniões semanais, com apresentações e debates sobre esforços nacionais e internacionais a respeito do tema.

Este documento foi elaborado pelos seguintes membros da SBC, em ordem alfabética: Alirio Santos Sá, Esteban Walter Gonzalez Clua, Eulanda Miranda dos Santos, José Laurindo Campos dos Santos, Lúbia Vinhas, Marcelo Rita Pias, Marilton Sanchotene de Aguiar, Pedro Ribeiro de Andrade Neto e Raimundo José de Araújo Macêdo. Agradecimentos a Andy Hopper e Tatiana Schor pelas apresentações em nossas reuniões.

Como citar este documento:

SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente: Manifesto SBC. Porto Alegre: SBC, Julho/2022. DOI 10.5753/sbc.rt.2022.07.01.

# Sumário

---

Capítulo 1: Contexto Mundial e no Brasil	03
1.1 Justificativa	04
1.2 Contexto da SBC	04
<hr/>	
Capítulo 2: Desafios e Ações	05
2.1 Princípios e Desafios Técnicos	07
2.2 Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente	08
2.3 Ações Propostas	09

---

# 1

## **CONTEXTO MUNDIAL E NO BRASIL**



## 1.1 Justificativa

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), dos quais o Brasil é signatário, incluem a proteção ao meio ambiente e ao clima para garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Em particular, o ODS número 13 trata da Ação Contra a Mudança Global do Clima, que visa tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos, principalmente através da implementação dos compromissos assumidos com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

A última Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP26), realizada em 2021 em Glasgow (Reino Unido), estabeleceu metas e compromissos concretos para o enfrentamento das mudanças climáticas, buscando ações para limitar o aumento da temperatura média da Terra, em comparação com o período pré-industrial, a no máximo 1,5°C. O governo brasileiro apresentou seu compromisso de reduzir as suas emissões de gases de efeito estufa em 50% até 2030<sup>1</sup> e neutralizar suas emissões até 2050. Para isso, se compromete a zerar o desmatamento ilegal até 2028; restaurar 18 milhões de hectares de florestas até 2030; recuperar 30 milhões de hectares de pastagens degradadas; alcançar, em 2030, a participação de 45% a 50% das energias renováveis na composição da sua matriz energética; e, incentivar a ampliação da malha ferroviária.

Para cumprir os compromissos assumidos pelo país, é necessário integrar esforços e tecnologias digitais completas e inovadoras, que permitam coletar, organizar, processar e compartilhar informações sobre os diferentes aspectos do planeta. Na Europa, por exemplo, a iniciativa Destination Earth (DestinE) [1] tem a ambição de criar um modelo digital de alta precisão da Terra, oferecendo uma plataforma para promover a colaboração entre vários atores - por meio de compartilhamento de informação, bem como de boas práticas para apoiar a criação e avaliação de políticas públicas.

## 1.2 Contexto da SBC

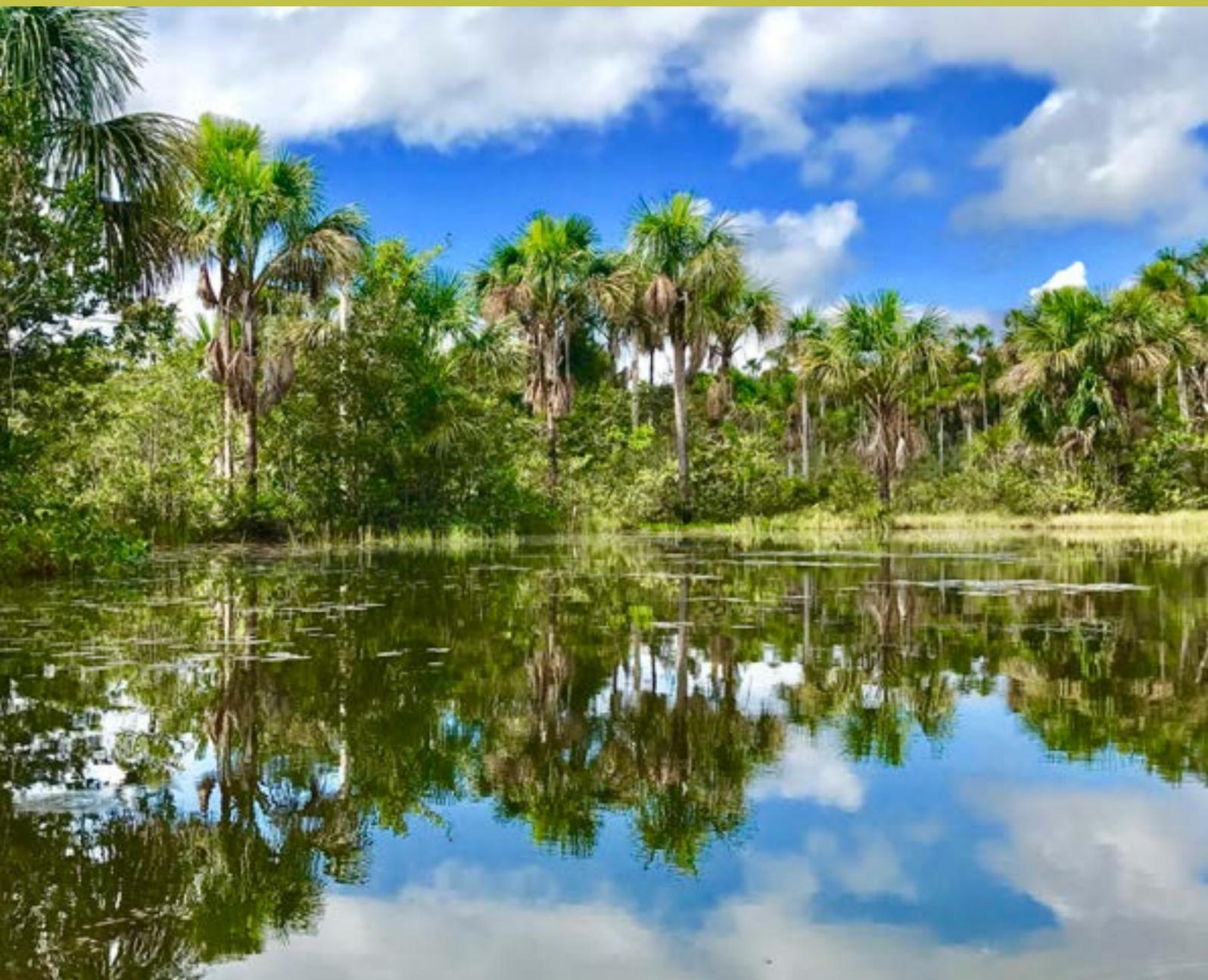
A Sociedade Brasileira de Computação (SBC) é uma sociedade científica sem fins lucrativos, criada em 1978, que congrega profissionais, pesquisadores, estudantes e entusiastas em Computação, sendo a maior do gênero na América Latina. Ao longo dos anos, a SBC esteve no epicentro de avanços técnicos e pesquisas científicas que permitiram a implantação de tecnologias da computação no Brasil, da criação da carreira de computação e da formulação de diretrizes curriculares que orientam a criação de cursos de graduação e pós-graduação na área em nosso país. Atualmente, a SBC mantém 27 Comissões Especiais temáticas com respectivos simpósios científicos anuais, cobrindo todas as áreas da computação, 25 secretarias regionais e representações institucionais em todo o território nacional e uma biblioteca digital aberta, de acesso gratuito, com anais de conferências, periódicos, livros, revistas e relatórios anuais.

Sabemos, no entanto, que a computação vai muito além de suas fronteiras científicas e tecnológicas; seus impactos são visíveis e, de fato, frequentemente influenciam e moldam vários aspectos da sociedade. Inspirada em iniciativas mundiais lastreadas em princípios da ONU, a SBC deseja contribuir para esse importante debate global e apresentar sua visão de longo prazo na busca por soluções para o enfrentamento das mudanças climáticas com auxílio das tecnologias digitais. Dessa forma, a SBC constituiu uma força-tarefa [12] a fim de contribuir com a preparação de um diagnóstico inicial sobre tecnologias digitais para a sustentabilidade do planeta. Este documento é o resultado das atividades da força-tarefa, a qual iniciou em 9 de setembro de 2021 e manteve reuniões semanais, com apresentações e debates sobre esforços nacionais e internacionais a respeito do tema. Ainda que a amostra dos projetos discutidos seja pequena, os membros da força-tarefa identificaram pontos de convergência, dificuldades e desafios que acreditam ser representativos do cenário nacional. Este documento traça um panorama desse cenário na forma de uma visão de longo prazo, com princípios e proposta de ações de modo a mobilizar comunidades de especialistas, incluindo os membros da SBC, na integração de esforços em **tecnologias digitais para o meio ambiente**.

1 <https://wribrasil.org.br/imprensa/cop26-protacao-de-florestas-vira-prioridade-global-brasil-precisara-transformar-promessas>

# 2

## DESAFIOS E AÇÕES



Os grandes problemas ambientais que a sociedade atual enfrenta estão relacionados a diversos aspectos da vida humana como segurança alimentar, segurança hídrica, resiliência a desastres entre outros. Todos esses problemas são potencializados pelas mudanças climáticas. Os cientistas que trabalham sobre esses temas geram e analisam dados volumosos e diversos, que vão desde medidas diretas e indiretas para estudar a história do clima da Terra, dados de observação meteorológica, até as últimas observações obtidas por satélites de sensoriamento remoto da superfície e da atmosfera. Tratam ainda com os dados de previsão de tempo de curto e médio prazo, além das previsões geradas por modelos climáticos. Por exemplo, imagens como as produzidas pelos satélites Landsat, Sentinel-1/2, CBERS, e Amazônia-1, que têm resoluções espaciais que variam entre 10 e 100 metros, mostram o passado e o presente a partir do espaço. Essas imagens são usadas para medir fenômenos como desmatamento, agricultura e desertificação, bem como para entender fenômenos como El Niño/La Niña e o aumento da altura do nível do mar.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), unidade de pesquisas do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), a partir de 2003, instituiu uma política de acesso, sem custos ou restrições de uso, às imagens sob sua curadoria. Essa iniciativa motivou a abertura das imagens da missão americana Landsat pelo *United States Geological Survey* (USGS) e também dos dados das missões Sentinel pela *European Space Agency* (ESA). Os dados de observação meteorológica são essenciais para calibrar modelos de previsão de tempo, compartilhados através da rede da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e em geral estão disponíveis de forma aberta. Nos Estados Unidos e no Brasil, as previsões numéricas de tempo e clima são disponibilizadas de forma aberta, já na Europa, a maioria dos centros ainda comercializa tais produtos. As projeções de clima futuro e os dados de entrada calibrados usados nesses modelos estão disponíveis abertamente. Já os dados obtidos a partir de campanhas de campo financiadas por agências de fomento, tais como dados de sedimentos de rios e lagos e testemunhos de gelo, fundamentais para modelagem dos climas passados e para calibrar modelos de previsão climática de longo prazo, seguem, em geral, o padrão acadêmico usual, sendo guardados por quem os coletou e abertos após terem esgotado seu potencial de publicação.

Recentemente, o Centro Europeu de Previsão de Tempo (ECMWF), com financiamento da Comissão Europeia, construiu o *Climate Data Store* (CDS), um ambiente que contém conjuntos de dados associados ao clima, com ferramentas de análise e visualização associadas. Iniciativas como o CDS demonstram o potencial das tecnologias computacionais de construir plataformas de acesso, compartilhamento de dados e extração de informações para suportar as decisões informadas e baseadas em ciência sobre as questões ambientais.

É premente o reconhecimento da necessidade de produzir e integrar dados e gerar informações de qualidade para rápida tomada de decisão nos diversos segmentos da sociedade. Para isso se materializar, é fundamental a implementação de estratégias efetivas de governança de dados visando garantir as principais vantagens da integração de dados, que compreendem: aumento na eficiência dos processos; melhoria na qualidade dos dados; acesso aos dados em tempo real; contribuição para o controle da gestão de geradores e consumidores dos dados; e aumento da segurança e integridade dos dados. A exemplo do cenário científico na Amazônia, diversos temas relacionados à biodiversidade, como, por exemplo, definição de áreas prioritárias para conservação, elaboração de planos de ação para as espécies ameaçadas, gestão de sistemas de áreas protegidas, demandam um grande esforço prévio de coleta, compilação de dados e qualificação da informação.

Nem sempre é possível acessar de forma simples e direta os dados e as informações necessárias que apoiam processos científicos. Embora exista uma quantidade grande de dados e informações sobre a Amazônia brasileira, em sua maioria, encontram-se espalhadas em diversas instituições e armazenadas em estruturas não padronizadas e em sistemas de informação independentes, desconectados e desenvolvidos com tecnologias obsoletas. Em muitos casos, há redundância de sistemas, e a não adoção de protocolos de qualificação de dados, assim como esforços organizados para levantamento de análise e síntese de dados, tanto primários quanto seus derivados, compromete a integração de dados.

No caso específico de instituições governamentais, a exemplo do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), o compartilhamento das informações de forma inequívoca é mandatório, seja internamente entre os órgãos de sua estrutura técnico-científica e administrativa, seja externamente com seus parceiros diretos ou qualquer componente da sociedade.

Um fluxo robusto adotado na geração da informação promove maior integração entre os processos de gestão, melhoria na tomada de decisão nas estruturas de governança, bem como considerável aumento da qualidade e confiabilidade dos resultados, permitindo impactos positivos esperados.

## 2.1 Princípios e Desafios Técnicos

### Abertura

O princípio de abertura estabelece que dados e códigos-fonte podem ser livremente usados, modificados e compartilhados. Ele é um aspecto chave para o rápido engajamento de esforços, monitoramento e mitigação de alterações climáticas. Esse princípio beneficia o desenvolvimento de novos sistemas e o crescimento dos existentes para otimizar os investimentos realizados. A abertura também pode ser desenvolvida no nível de sistemas através, por exemplo, de interfaces abertas, que usam padrões e protocolos abertos para facilitar a operação. Esse princípio também está muito ligado à interoperabilidade.

### Interoperabilidade

A interoperabilidade está relacionada com a capacidade de diferentes sistemas trabalharem de forma conjunta. Por exemplo, as bases de dados, mesmo independentes, devem ser integradas e prontamente disponibilizadas para aplicações.

### Confidencialidade, Integridade e Autenticidade

A garantia da confidencialidade, quando necessária - por exemplo, para proteger a identidade de pessoas -, e da integridade dos dados utilizados na gestão ambiental é altamente recomendada. Da mesma forma, é necessário garantir a autenticidade dos agentes que interagem para a realização do sistema digital de controle ambiental. Esses são atributos fundamentais para a necessária segurança e confiança a ser atribuída ao funcionamento desses sistemas. No caso de bases de dados, estas devem ser confiáveis e auditáveis.

### Disponibilidade

Este princípio garante o acesso aos dados e sistemas com níveis aceitáveis de confiança. A reprodutibilidade de operações, aspecto importante da Ciência Aberta, depende da disponibilidade e fácil utilização de dados abertos.

### Controle de Qualidade dos Dados

Permite garantir o histórico dos dados e sua rastreabilidade para futuras auditorias. Nesse contexto, algumas características dos dados a considerar são:

- A Ciência Aberta preconiza dado primário e derivado, assim como a sua importância nos cenários de aplicação. O dado derivado origina-se de transformações e operações (ex. filtros de limpeza, pré-processamento) aplicadas ao dado primário. A anotação feita ao dado, na forma de metadados, agrega valor.
- A síntese do dado primário sem o devido registro das operações empregadas torna difícil auditorias e transparência, por exemplo, em esforços de colaboração internacional.
- Os dados podem sofrer alterações indevidas oriundas de mau funcionamento de sistemas ou até devido a cenários de má-fé.
- Os dados têm valor associado que contempla custos de coleta, processamento e benefícios com o uso dos mesmos. Deve-se incluir indicadores para aferir se o dado tem qualidade, e um rótulo de valoração do mesmo.
- Os dados sofrem validação de forma contínua ao longo do processo de qualidade. É importante estabelecer mecanismos de auditoria para o controle da qualidade e transparência dos dados. Por exemplo, verificar rastreabilidade por meio de um grupo de auditores.

## 2.2 Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente

As tecnologias digitais são um ativo importante no desenvolvimento de mecanismos para o enfrentamento dos desafios relacionados à preservação do meio ambiente e ao combate às mudanças climáticas. Diferentes tecnologias digitais habilitam a criação de modelos digitais de alta precisão, denominados **Gêmeos Digitais**, para o suporte à gestão do meio ambiente (Fig. 1).



FIG. 1 - EXEMPLO DE GÊMEO DIGITAL PARA O MEIO AMBIENTE

Tecnologias digitais integradoras, como a **Internet das Coisas (IoT)**, permitem que gêmeos digitais para o meio ambiente possam obter dados variados de fontes diversas e com diferentes temporalidades e granularidades. Por exemplo, dados podem ser obtidos online (ou em tempo real) via rede de comunicação, a partir de sensores inteligentes com facilidades de comunicação embarcadas, a partir de bases de dados de outros sistemas e de outros gêmeos digitais; ou ainda, os dados podem ser obtidos em campo, e inseridos diretamente no sistema com intervenção humana.

Os gêmeos digitais para o meio ambiente podem combinar dados atuais e históricos com um conjunto de modelos para estimar as condições ambientais atuais e fazer prognósticos sobre as condições futuras. Os modelos podem ser potencializados combinando modelos matemáticos baseados em princípios físicos/fenomenológicos com modelos baseados em dados, obtidos ou refinados com técnicas de aprendizado de máquina. Devido ao grande volume de dados e da complexidade dos modelos usados por tais gêmeos digitais, o processamento e armazenamento dos dados são apoiados por infraestruturas computacionais de alto desempenho (**HPC, do inglês High Performance Computing**).

**Gêmeo Digital (do inglês, Digital Twin):** réplica digital de entidade física, integrada com a respectiva entidade física de tal forma que mudanças na réplica digital podem ser refletidas na entidade física e vice-versa.

**Internet das Coisas (IoT, do inglês Internet of Things):** ambiente onde produtos, dispositivos, sistemas e pessoas podem se comunicar e interagir, em escala global, usando tecnologias e protocolos da Internet.

**Computação de Alto Desempenho (High Performance Computing):** representa a oferta de computação de alto desempenho utilizando técnicas de processamento paralelo e distribuído, a partir de computadores interligados com conexões de alta velocidade.

O mapeamento das condições ambientais atuais e futuras realizado pelos gêmeos digitais pode ser usado para realizar intervenções sobre o meio ambiente: de forma *online*, via rede de comunicação, com ações enviadas diretamente para dispositivos IoT, instalados em campo, e para sistemas robóticos (e.g. drones); ou de forma *offline*, a partir de sugestões para intervenções humanas, em casos de intervenção imediata, ou sinalizando políticas públicas para ações estruturais de mais longo prazo.

A simbiose entre o gêmeo digital e suas representações físicas no meio ambiente compõem uma malha de automação, típica de **sistemas cibernético-físicos (CPS)**. Essas estruturas de CPS, quando habilitadas por IoT, permitem que um gêmeo digital se integre com malhas de automação de outros gêmeos digitais e componha malhas de automação distribuídas, complexas e em larga escala para gestão do meio ambiente.

Essa integração em escala pode ser suportada por ambientes de **computação em nuvem (cloud computing)**, principalmente quando processamento e armazenamento de alto desempenho precisam ser compartilhados pelos gêmeos digitais.

**Sistemas Cibernético-Físico (CPS, do inglês Cyber-Physical Systems):** sistemas computacionais e entidades do mundo físico que interagem e se influenciam mutuamente a partir de redes de comunicação, formando malhas de automação, tradicionalmente conhecidas em ambientes industriais.

**Computação em Nuvem (Cloud Computing):** paradigma de computação onde infraestruturas, plataformas, aplicativos computacionais e outros podem ser oferecidos como serviço a partir da Internet.

## 2.3 Ações Propostas

### Ação 1: Política nacional voltada para tecnologias digitais de assistência ao combate de mudança climática

O relatório AR6 [2] traz resultados de grupos de trabalho IPCC<sup>1</sup> na problemática de mudanças climáticas. A mensagem direta continua sendo a de que os governantes têm o dever de criar políticas públicas agressivas, com o intuito de reduzir o mais rápido possível as emissões de CO<sub>2</sub> em seus territórios. Apesar da enorme compreensão existente sobre essa problemática, ainda são necessárias políticas nacionais e uma estratégia global coordenada visando à adaptação às mudanças climáticas. Por outro lado, estão ocorrendo iniciativas positivas em muitos países em busca do marco "**zero líquido**"<sup>2</sup> para emissões de dióxido de carbono até o ano de 2050. O desafio é imenso e requer políticas públicas mais veementes para contribuir com a transição para uma economia verde. Nesse contexto, uma abordagem transdisciplinar para o cenário nacional, com amplo debate no Brasil, contribuirá com uma nova visão do conhecimento que está acima das disciplinas, menos compartimentalizada, abrangendo temas sem fronteiras entre diferentes áreas de conhecimento.

Localmente, os grupos no Brasil estão avançando em projetos de aplicação, desenvolvimento e suporte às tecnologias. Entretanto, esse avanço ainda acontece sem integração coerente de esforços. Políticas nessa área podem ser bem eficazes, pois a tecnologia ajuda, mas políticas bem formuladas são fundamentais.

O Brasil assinou um tratado estabelecendo algumas metas e indicadores para o enfrentamento e mitigação de mudanças climáticas no contexto nacional. Com isso, tornam-se necessários a preparação de estratégias e um diagnóstico, incluindo também o papel das tecnologias digitais para a sustentabilidade do planeta.

É importante o debate amplo desse tipo de visão e estratégia pela sociedade brasileira, em especial pelos especialistas, incluindo as áreas da computação do país, para a definição de uma política nacional de tecnologias digitais para o meio ambiente. A Ciência Aberta [3] tem muito a contribuir na definição dessa política nacional e, principalmente, na integração de esforços de especialistas com a transparência das metodologias, dos dados e dos resultados obtidos.

<sup>1</sup> IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

<sup>2</sup> **zero líquido (ou net-zero em inglês)** refere-se ao balanço entre a quantidade de gases de efeito estufa e a quantidade retirada destes gases da atmosfera.

As atividades propostas nesta ação são:

- Definir indicadores regionais, alinhados aos globais, relacionados ao desenvolvimento, implantação e uso de tecnologias digitais.
- Fomentar editais estratégicos ligados ao tema meio ambiente, promovendo a sustentabilidade financeira para projetos de longo-prazo.
- Fomentar a colaboração internacional.
- Criar um Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) na área de tecnologias digitais para o meio ambiente.
- Este INCT terá o papel de integração transdisciplinar por meio de ações como, por exemplo:
  - Promover integração de esforços nacionais; entender demandas de grupos separados para troca de informação; e construir uma plataforma que beneficie a todos.
  - Realizar workshops, reuniões, e estabelecer uma central de encontros de vários grupos.
  - Estruturar grupos de trabalho, grupos técnicos e a padronização de dados.

## **Ação 2: Possibilitar Espaço para a Ciência Aberta**

A ciência não se faz de forma isolada dos problemas que afligem a sociedade. Pelo contrário, a ciência é instrumento fundamental para a superação desses desafios, emergentes ou de longo prazo. Em particular, a computação e suas tecnologias, quando bem aplicadas, representam oportunidade de geração de riquezas e de trabalho de forma sustentável.

A Ciência Aberta [3], na forma da comunicação aberta dos resultados, de hipóteses e de opiniões, pode ajudar a estabelecer práticas que potencializem a integração de esforços brasileiros na área ambiental. Recentemente, a UNESCO adotou, por decisão unânime em sua 41ª Conferência Geral, a Recomendação para Ciência Aberta [4], que tem o potencial de tornar o processo científico mais transparente e democrático - ajudando na articulação entre ciência, tecnologia e inovação em diálogo amplo com a sociedade [5].

A proposta FAIR [6] (do inglês *Findability, Accessibility, Interoperability, and Reusability*) habilita os princípios de abertura, transparência e reprodutibilidade de resultados, seja na forma de dados, algoritmos, modelos, protótipos, entre outros. Tais resultados precisam ser encontrados facilmente, promovendo, dessa forma, a transparência da ciência para o benefício da comunidade científica e da sociedade em geral. Os resultados devem estar acessíveis, buscando a interoperabilidade por meio da integração com outros dados e resultados. Por último, os resultados devem ser reusáveis, promovendo o princípio fundamental da reprodutibilidade.

Esta ação considera que o dado tem uma “**etiqueta de custo**”, e a coleta de dados científicos de qualidade tem custo elevado considerando o tempo das pessoas envolvidas e os recursos computacionais necessários. Alguns dados podem ficar retidos de forma temporária para validação interna no projeto por parceiros nacionais e internacionais.

Entretanto, com a Ciência Aberta esses ativos devem ser disponibilizados em prol de um bem maior que é a sustentabilidade do planeta.

As atividades propostas nesse contexto são:

- Promover atividades de governança, incluindo o beneficiamento dos dados (rotulagem, representação, limpeza e validação).
- Padronizar e ampliar a coleta de dados na área ambiental, obtidos por diferentes tecnologias de sensores e Internet das Coisas.
- Promover dados e interfaces de sistemas abertos (incluindo código aberto).
- Estabelecer modelos de transparência auditáveis para dados e sistemas.
- Seguindo recomendação da UNESCO, promover espaço para **ciência cidadã**, criando oportunidades de educação (formal e informal) em ciência e permitindo a contribuição de pessoas para causa ambiental.
- Promover fóruns para a popularização da ciência no contexto de mudanças climáticas.

### **Ação 3: Criar fórum integrador e transdisciplinar (HUB)**

Há especialistas em meio ambiente e em tecnologias digitais para o meio ambiente com muita experiência no país. A SBC por meio do seu workshop WCAMA<sup>3</sup>, ainda que na escala e escopo da computação, tem contribuído com o debate interdisciplinar ao possibilitar que ambientalistas proponham desafios ao público de computação. O que se observa é a necessidade de ampliar a articulação entre esses especialistas.

As atividades propostas para esta ação são:

- Criar estrutura de formação (inter/multi/transdisciplinar) para capacitação de pessoas, articulando diferentes competências em âmbito nacional, recorrendo aos programas de pós-graduação e à capacidade instalada no país para colaborar nos grandes desafios.
- Estabelecer diretrizes curriculares como estratégia para aumentar a capacidade de inovação do país na área de tecnologias digitais para o meio ambiente.
- Discutir o papel da ciência aberta com dados, métodos, abordagens, hardware e software, de forma transparente, aberta e compartilhável.

---

3 <https://wcama.wordpress.com/>

- Ampliar as co-tutelas internacionais para a formação de pesquisadores provendo a troca de conhecimento em duas vias, bem como a utilização de infraestrutura e competências entre instituições no Brasil e parceiros no exterior.
- Desenvolver mecanismos de compartilhamento de recursos computacionais, incluindo infraestrutura de computação de alto desempenho (e.g. aplicações de Inteligência Artificial) e laboratórios multiusuários.
- Avaliar e minimizar o impacto ambiental das tecnologias digitais em seu processo de fabricação, utilização e descarte, levando-se em conta a poluição química e eletromagnética, gasto de energia e contribuição ao aquecimento global.
- Conscientizar e preparar novos pesquisadores para o tema tecnologias digitais para o meio ambiente por intermédio do HUB.

#### Ação 4: Integração de sistemas (Digital Twin BR)

O intuito desta ação é promover a integração de sistemas de controle ambiental por meio de uma **infraestrutura lógica e de dados compartilhada**, tal como, por exemplo, um *middleware* de alto nível, permitindo a visualização, a simulação do planeta e a geração de alarmes a partir dos sistemas existentes. Modelos de previsão de tempo e modelos de enchentes são alguns exemplos de eventos modelados. Essa plataforma traria como principal benefício o baixo custo de integração, operando como uma camada de alto nível, acima dos modelos existentes e gerando a oportunidade de novas aplicações para usuários. Entretanto, o nível de atuação e abstração dessa proposta é ainda algo muito difícil de conceituar. Torna-se de vital importância o papel de um INCT para debater as necessidades de informações e requisitos de sistema com cientistas atuantes na área ambiental, além de outros setores da sociedade envolvidos nessa temática.

Nesse contexto surgem as iniciativas de integração de sistemas por meio do conceito de Gêmeo Digital Planetário [7,8], ajudando como um arcabouço para o debate de integração de sistemas técnicos e principalmente como uma alavanca para o debate de tecnologias digitais aplicadas aos problemas ambientais. O gêmeo digital é um conceito concebido e utilizado nos processos de produção industrial com o intuito de otimizar operações complexas por meio de um fluxo de trabalho altamente integrado, combinando uma réplica digital do processo com observações em tempo real do sistema físico [9].

O termo Gêmeo Digital refere-se a tecnologias já desenvolvidas e utilizadas. As novidades para o Gêmeo Planetário [11] possivelmente estão na simulação, instantaneidade da informação por conta de sensores, acionamento em tempo real, agilidade e integração de informações. Entretanto, um gêmeo do planeta é muito ambicioso, pois envolve tecnologias de processamento paralelo e modelos matemáticos e estatísticos complexos (e.g. previsão de tempo).

Nesta ação propõe-se a criação de uma infraestrutura lógica e de dados como base para o **Gêmeo Digital Brasileiro (Digital Twin BR)**, o qual permite a integração técnica por meio de APIs (interfaces de programação de aplicações) e dados compartilhados, para ter uma réplica virtual de ativos ambientais, incluindo ecossistemas naturais, objetos e pessoas. Esse ambicioso *middleware* consiste em uma camada de extremo alto nível, permitindo simulação e visualização de cenários construídos por **gêmeos digitais** distribuídos (sistemas já existentes, ou novos sistemas), garantindo a integração de esforços existentes espalhados nas diferentes regiões geográficas do país. Para tanto,

tecnologias digitais como sistemas de sensores e atuadores interligados pela Internet das Coisas, sistemas ciberfísicos, modelos de aprendizado de máquina, sistemas multi-agentes, realidade aumentada e virtual devem ajudar na implementação dessa visão.

Algumas das principais atividades propostas consistem em:

- Realizar o mapeamento de soluções existentes em diferentes temáticas, identificando os desafios de integração dessas soluções.
- Elencar ações, discutir uma padronização e integração com uma camada Twin BR que contemple os desafios relativos à sustentabilidade ambiental.
- Desenvolver um middleware aberto que integre atuais e futuras soluções de sistemas para sustentabilidade ambiental.

O *middleware*, com suas camadas de abstração em alto nível, pode contribuir com os princípios de interoperabilidade e abertura, pois a ideia é que exista um tipo de compartilhamento de dados, inclusive de modelos de Inteligência Artificial e de simulações, entre os gêmeos operando em diferentes regiões geográficas do Brasil.

#### **Ação 5: Promover a modelagem de sistemas ambientais por múltiplos meios que contemple abordagens matemáticas, computacionais e da Inteligência Artificial**

A área de modelagem de sistema terrestre – como uma visão integradora de aspectos sociais, econômicos, culturais e políticos – estende-se por diversos campos do conhecimento tais como: biologia; ecologia; engenharias ambiental, florestal, hídrica, geológica e agrônômica; meteorologia; sensoriamento remoto, geografia e geoprocessamento; modelagem matemática e computacional; simulação e computação de alto desempenho; economia e planejamento urbano e territorial; dentre outros.

A modelagem de sistemas ambientais integrados inspira-se na necessidade de resolver problemas cada vez mais complexos do mundo real envolvendo o meio ambiente e sua relação com os sistemas e atividades humanas. O perfil complexo desse tipo de problema leva à necessidade de um pensamento sistêmico de ordem superior com soluções holísticas, exigindo a integração interdisciplinar de pesquisadores, contemplando abordagens convencionais (matemáticas ou computacionais) e híbridas (com suporte de Inteligência Artificial - IA) para a modelagem e simulação participativa.

Os modelos de IA, especialmente os modelos baseados em técnicas de aprendizado de máquina, têm alcançado o estado da arte em diversas aplicações, incluindo aplicações ambientais. Devido a esse sucesso, existe uma expectativa sobre a possibilidade de implantação da IA Rígida (*Hard AI*) [10]. O termo IA Rígida relaciona-se à pergunta: os sistemas ambientais tradicionais em alguma ou em todas as escalas temporais poderiam ser substituídos por soluções de IA? A nossa expectativa com esta ação está muito mais relacionada à noção de IA Suave (*Soft AI*), que busca melhorar a eficiência e mesmo a eficácia de sistemas ambientais existentes e a serem desenvolvidos.

Assim, apresenta-se como desafios significativos integrar modelos e conjuntos de dados altamente complexos, produzindo informações mais precisas para fomentar o desenvolvimento de políticas públicas em tempo hábil sobre, por exemplo, estratégias de mitigação ou adaptação frente às mudanças climáticas.

Esta ação considera as seguintes questões norteadoras: i) como a computação pode auxiliar a melhoria de aspectos como qualidade, acurácia e explicabilidade de modelos híbridos ou convencionais existentes ou derivados?; e, ii) como aplicar técnicas computacionais para produzir resultados compatíveis (mesma acurácia) com os modelos

existentes, usando menos recursos computacionais e energéticos?

As atividades propostas são:

- Promover a capacitação interdisciplinar de pesquisadores com ênfase em otimização de modelos.
- Promover atividades de popularização do uso de técnicas e de modelos de IA explicáveis.
- Promover a prática da computação verde, ou computação ambientalmente sustentável.
- Estabelecer métricas para avaliar a viabilidade de substituição de sistemas ambientais mais clássicos, como os modelos numéricos, por modelos de IA.

# REFERÊNCIAS

---

- [1] Nativi S, Mazzetti P, Craglia M. Digital Ecosystems for Developing Digital Twins of the Earth: The Destination Earth Case. *Remote Sensing*. 2021; 13(11):2119. <https://doi.org/10.3390/rs13112119>
- [2] Arias, P.A. et al. *Climate Change 2021 (Technical Summary): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002
- [3] Medeiros, C. *Ciência Aberta - Colaboração sem barreiras para o avanço do conhecimento*. SBC Computação Brasil (O Papel da Computação na Ciência Aberta), Número 46, Dezembro 2021. [https://www.sbc.org.br/images/flippingbook/computacaobrasil/computa\\_46/pdf/CompBrasil\\_46.pdf](https://www.sbc.org.br/images/flippingbook/computacaobrasil/computa_46/pdf/CompBrasil_46.pdf)
- [4] UNESCO. *Recommendation on Open Science*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France, 2021. Document SC-PCB-SPP/2021/OS/UROS: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949.locale=en>
- [5] UNESCO. Preliminary study of the technical, financial and legal aspects of the desirability of a UNESCO recommendation on Open Science. In UNESCO General Conference, 40th, 2019. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370291>
- [6] Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci Data* 3, 160018 (2016). <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
- [7] Bauer, P., Dueben, P.D., Hoefler, T. et al. The digital revolution of Earth-system science. *Nature Computational Science* 1, 104–113 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00023-0>
- [8] Royal Society. *Digital technology and the planet: Harnessing computing to achieve net zero*. The Royal Society, 2020. ISBN 978-1-78252-501-1. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/digital-technology-and-the-planet/digital-technology-and-the-planet-report.pdf>
- [9] B. R. Barricelli, E. Casiraghi and D. Fogli. A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications, in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167653-167671, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953499.
- [10] Chantry M, Christensen H, Dueben P, Palmer T. Opportunities and challenges for machine learning in weather and climate modelling: hard, medium and soft AI. *Phil.Trans.R.Soc. A379*: 20200083, 2021. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0083>
- [11] Bauer, P., Stevens, B. & Hazeleger, W. A digital twin of Earth for the green transition. *Nature Climate Change*. 11, 80–83 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00986-y>
- [12] Força-Tarefa da SBC Digital Twin BR: a computação para o planeta. Outubro, 2021. <https://www.sbc.org.br/institucional-3/cartas-abertas/send/93-cartas-abertas/1369-forca-tarefa-digital-twin-br>



Sociedade Brasileira  
de Computação