

ARTIGO

FORÇA-TAREFA DA SBC: DIGITAL TWIN BR - A COMPUTAÇÃO A SERVIÇO DO PLANETA

POR

Marcelo Rita Pias, Raimundo José de Araújo Macêdo, Esteban Walter Gonzalez Clua, Marilton Sanchotene de Aguiar, Pedro Ribeiro de Andrade Neto, Alirio Santos de Sá, Eulanda Miranda dos Santos, José Laurindo Campos dos Santos, Lúbia Vinhas.

mpias@furg.br, macedo@ufba.br, esteban@ic.uff.br, marilton@inf.ufpel.edu.br, pedro.andrade@inpe.br, aliriosa@ufba.br, emsantos@icompu.ufam.edu.br, laurindo.campos@inpa.gov.br, lubia.vinhas@inpe.br

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).

O governo brasileiro apresentou seu compromisso de reduzir suas emissões de

gases de efeito estufa em 50% até 2030¹ 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 a participação de 45% a 50% das energias renováveis na composição da sua matriz energética em 2030; e, por fim, 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

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

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.

Força-tarefa SBC

Sabemos 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. A força-tarefa, a qual iniciou em 9 de setembro de 2021, manteve reuniões semanais, com apresentações e debates sobre esforços nacionais e internacionais a respeito do tema.

O documento final da força-tarefa - **Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente: Manifesto SBC**² - aprovado na assembleia geral da SBC durante o 42º CSBC, 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 espe-

² <https://sol.sbc.org.br/livros/index.php/sbc/catalog/book/104>

cialistas, incluindo os membros da SBC, na integração de esforços em tecnologias digitais para o meio ambiente.

Este artigo apresenta um resumo deste documento, com ponderações acerca de tecnologias habilitadoras e ações propostas.

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).

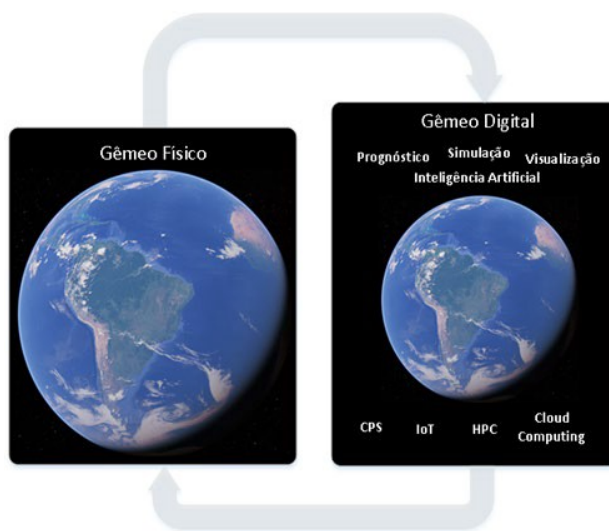


FIG. 01 | EXEMPLO DE GÊMEO DIGITAL PARA O MEIO AMBIENTE

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. 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*). O mapeamento das condições ambientais atuais e futuras realizadas pelos gêmeos digitais pode ser usado para realizar intervenções sobre o meio ambiente de várias maneiras: de forma online, via rede de comunicação, com ações enviadas diretamente para dispositivos IoT, instalados em campo, e para sistemas robóticos (por exemplo, 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 compõe 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 utilizar ambientes de computação em nuvem (*cloud computing*), principalmente quando processamento e armazenamento de alto desempenho precisam ser compar-

tilhados pelos gêmeos digitais.

Ações Propostas

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

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

As atividades propostas nesta ação são: (i) definir indicadores regionais, alinhados aos globais, relacionados ao desenvolvimento, implantação e uso de tecnologias digitais; (ii) fomentar editais estratégicos ligados ao tema meio ambiente, promovendo a sustentabilidade financeira para projetos de longo-prazo; (iii) fomentar a colaboração internacional; e (iv) criar um Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) na área de tecnologias digitais para o meio ambiente, com o papel de integração transdisciplinar.

Ação 2: Possibilitar Espaço para a Ciência Aberta

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. As atividades propostas nesse contexto são: (i) promover atividades de governança, incluindo o beneficiamento dos dados (rotulagem, representação, limpeza e validação); (ii) padronizar e ampliar a coleta de dados na área ambiental, obtidos por diferentes tecnologias de sensores e Internet das Coisas; (iii) promover dados e interfaces de sistemas abertos (incluindo código aberto), e (iv) estabelecer modelos de transparência auditáveis para dados e sistemas.

Ação 3: Criar fórum integrador e transdisciplinar (HUB)

O Brasil conta com especialistas em meio ambiente e em tecnologias digitais para o meio ambiente com muita experiência em atividade no país. A SBC, por meio do seu workshop WCAMA ³, 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: (i) criar estrutura de formação inter/multi/transdisciplinar para capacitação de pessoas, recorrendo aos programas de pós-graduação; (ii) estabelecer diretrizes curriculares como estratégia para aumentar a capacidade de inovação do país; (iii) ampliar as cotutelas internacionais para a formação de pesquisadores provendo a troca de conhecimento em duas vias; (v) desenvolver mecanismos de compartilhamento de recursos com-

³ <https://wcama.wordpress.com/>

putacionais, incluindo infraestrutura de computação de alto desempenho (por exemplo, aplicações de Inteligência Artificial) e laboratórios multiusuários; e (vi) avaliar e minimizar o impacto ambiental das tecnologias digitais em seu processo de fabricação, utilização e descarte.

Ação 4: Integração de sistemas (Twin Digital 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, de forma totalmente distribuída. 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.

Algumas das principais atividades propostas consistem em: (i) realizar o mapeamento de soluções existentes em diferentes temáticas, identificando os desafios de integração dessas soluções; (ii) elencar ações, discutir uma padronização e integração com uma camada Twin BR que contemple os desafios relativos à sustentabilidade ambiental; (iii) desenvolver um middleware aberto que integre atuais e futuras soluções de sistemas para sustentabilidade ambiental.

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

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.

As atividades propostas são: (i) promover a capacitação interdisciplinar de pesquisadores com ênfase em otimização de modelos; (ii) promover atividades de popularização do uso de técnicas e de modelos de IA explicáveis; (iii) promover a prática da computação verde, ou computação ambientalmente sustentável; (iv)

estabelecer métricas para avaliar a viabilidade de substituição e/ou complementação de sistemas ambientais mais clássicos, como os modelos numéricos, por modelos de IA.

Considerações Finais

Muitas são as oportunidades para mobilizar comunidades de especialistas, incluindo os membros da SBC, na integração de esforços para aplicação de tecnologias digitais em projetos voltados ao meio ambiente. Este artigo apresentou um resumo do documento **Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente: Manifesto SBC**, que traça um cenário na forma de uma visão de longo prazo, com princípios, desafios e proposta de ações tanto na forma de incentivo a uma política nacional alicerçada nos pilares da ciência aberta e integração transdisciplinar de esforços nacionais, bem como, no pilar de integração técnica de sistemas por meio da proposta do Twin Digital BR, integrando tecnologias habilitadoras IoT, HPC e 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>
- 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
- 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
- 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>
- 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>



MARCELO RITA PIAS é Professor Adjunto no Centro de Ciências Computacionais (C3) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Obteve o título de PhD em Ciência da Computação pela University College London (UCL), Reino Unido, onde trabalhou posteriormente como pesquisador no Departamento de Computação na Universidade de Cambridge. Esse trabalho foi complementado com um estágio pos-doc industrial na INTEL Research Labs. Tem interesse de pesquisa nas áreas de sensores inteligentes, IA embarcada e sistemas distribuídos.



RAIMUNDO JOSÉ DE ARAÚJO MACÊDO é Professor Titular do DCI/IC da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Presidente da SBC, eleito em 2019 (biênio 2019-2021), re-eleito em 2021 (biênio 2021-2023). Graduação na UFBA (1982), mestrado na Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (1986) e doutorado na University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra (1994). Fundador, em 1995, e atual coordenador, do Laboratório de Sistemas Distribuídos (LaSiD/UFBA). Foi proponente e coordenador de três programas de pós-graduação pela UFBA: Sistemas Distribuídos, Ciência da Computação e Mecatrônica. Pesquisador visitante no IRISA/França (1997, 2000, 2002 e 2011) e na Universidade de Lisboa/Portugal (2008). Membro eleito do “board” da IFIP (International Federation for Information Processing) de 2015 a 2021 e do comitê diretivo do CLEI (Centro Latinoamericano de Estudios en Informática) de 2011 a 2016. Membro do Conselho Universitário Matriz e Pró-Reitor de Tecnologias da Informação e Comunicação da Universidade Federal do Sul da Bahia de 2013 a 2017.



ESTEBAN CLUA é Professor do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense e atua nas áreas de Computação Gráfica, Jogos Digitais, Realidade Virtual e Visão Computacional. É pesquisador 1D do CNPq e Cientista do Estado pela FAPERJ. Possui mais de 60 artigos publicados em periódicos e mais de 200 em conferências.



MARILTON SANCHOTENE DE AGUIAR é Professor Associado na Universidade Federal de Pelotas no âmbito dos Cursos de Graduação em Ciência e Engenharia de Computação e, também, do Programa de Pós-Graduação em Computação. Sua pesquisa tem se focado em aplicações de Inteligência Artificial na resolução de problemas ambientais e da saúde.



PEDRO RIBEIRO DE ANDRADE NETO é Tecnologista Sênior do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e professor dos programas de pós-graduação em Computação Aplicada e Ciência do Sistema Terrestre do instituto. Suas áreas de pesquisa são geoinformática, modelagem ambiental, simulação social e comunicação científica. Lidera o desenvolvimento tecnológico das plataformas AdaptaBrasil e TerraME.



ALIRIO SANTOS DE SÁ é doutor em Ciência da Computação e professor do Departamento de Computação Interdisciplinar (DCI) da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Atualmente, é coordenador do Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica da UFBA (PPGM/UFBA). Pesquisador do Laboratório de Sistemas Distribuídos da UFBA (LaSiD/UFBA), onde investiga a construção de sistemas mecatrônicos distribuídos, caracterizados por dispositivos com habilidades computacionais embarcadas, interligados a partir de redes de comunicação diversas, em aplicações críticas e de tempo real, tais como: sistemas de transporte inteligentes, sistemas de monitoramento e vigilância baseados em drones, sistemas integrados de automação industrial etc.



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



JOSÉ LAURINDO CAMPOS DOS é graduado em Engenharia Modalidade Construção Civil pelo Instituto de Tecnologia do Amazonas (1984), mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Paraíba (1988) e doutor em Ciência da Computação - Universidade de Twente e Instituto Internacional de Pesquisa Aeroespacial e Observação da Terra - ITC, (2003) – the Netherlands.



LUBIA VINHAS é pesquisadora sênior no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). É doutora em geoinformática pelo INPE, docente do curso de Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (CAP-INPE). Foi Coordenadora-Geral de Observação da Terra e atualmente é coordenadora do projeto Base de Informações Georreferenciadas.