



VII Encontro de Iniciação Científica e  
Tecnológica  
VII ENICT  
ISSN: 2526-6772  
IFSP – Câmpus Araraquara  
20 e 21 de outubro de 2022



## **COMPUTATIONAL SUSTAINABILITY: VISÃO, ESTUDOS E CENÁRIO DE PESQUISA.**

BRUNA LOGATTI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda, Mestre, Engenheira Civil e de Computação, PPGEU/UFSCar, IFSP-AQ, bru.logatti@gmail.com.

Área de conhecimento 1.03.01.01-1

**RESUMO:** Originada em 2009, a *computational sustainability*, chamada de sustentabilidade computacional, é uma área de pesquisa que busca integrar dois assuntos extremamente estudados atualmente: a computação e a sustentabilidade. Esse trabalho procurou definir alguns aspectos sobre a sustentabilidade computacional (visão, objetivos, áreas de pesquisa), apresentar alguns estudos já desenvolvidos ao redor do mundo e por fim realizar uma análise sobre o cenário desse novo domínio de pesquisa no Brasil. Como resultado do estudo tem-se que a *computational sustainability* apresenta características interessantes, como sua multidisciplinaridade, conectividade e escalabilidade, sendo um novo domínio para obtenção de soluções para problemas relacionados à sustentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Computação, *computational sustainability*, sustentabilidade.

### **INTRODUÇÃO**

A era da computação, também chamada de terceira revolução industrial ou revolução digital, já ocorre e está em plena operação. Junto com os avanços da computação surgiram indicadores preocupantes, atualmente o planeta Terra leva um ano e oito meses para regenerar tudo que é consumido em um ano, sabe-se que quanto maior o produto interno bruto (PIB) de um país, maior é a sua pegada ecológica, uma progressão quase linear ao longo dos anos, o consumismo é um dos grandes problemas do século ao mesmo tempo que é um dos grandes responsáveis pelos avanços tecnológicos existentes (GLOBAL FOOTPRINT, 2021).

Entretanto, a computação é uma ferramenta potente e facilmente escalável para os mais diversos problemas da sociedade, não pode ser esquecido que quem opera os dispositivos e criam as tendências são os seres humanos, culpar as máquinas por esses indicadores é a solução mais fácil, mas não necessariamente a correta. Ao mesmo tempo em que a computação pode ser utilizada para influenciar e ditar o ritmo do consumismo global, uma nova vertente surge, demonstrando o potencial da computação para solucionar problemas ambientais e locais, a chamada *computational sustainability*, traduzido para sustentabilidade computacional.

Essa nova vertente de pesquisa tem como premissa utilizar ferramentas computacionais para solucionar problemas de sustentabilidade global, um fator interessante é que geralmente os problemas relacionados à sustentabilidade são extremamente complexos e os computadores lidam bem com a complexidade de dados, ou seja, para ambas as áreas, tanto a computação quanto a sustentabilidade existe uma situação de “ganha-ganha”.

Este estudo tem como objetivo investigar os aspectos da *computational sustainability*, apresentar alguns estudos elaborados por essa vertente de pesquisa e mostrar a perspectiva dessa área de pesquisa no Brasil. O artigo será dividido em cinco seções, a primeira seção discutirá as tecnologias existentes e que são utilizadas na *computational sustainability*, a segunda seção trará um histórico sobre a *computational sustainability*, sua visão e objetivos, a terceira seção discutirá algumas aplicações dessa área de pesquisa, a quarta seção abordará o cenário de pesquisa no Brasil e a quinta seção trará as conclusões obtidas com esse estudo

## A COMPUTAÇÃO

A computação é definida no dicionário Michaelis (2021) como o “ato ou efeito de computar”, computar por sua vez é tido como o ato de “processar dados em um computador”, a computação, portanto, tem como objetivo receber informações (dados de entrada) tomar decisões com base em algoritmos (processar) e fornecer uma resposta ao usuário (dados de saída). Uma das grandes mudanças na computação diz respeito, principalmente, em relação à coleta de dados e ao processamento. As tecnologias disponíveis para a computação costumam ser divididas em duas categorias, os *softwares* e os *hardwares*. De uma forma resumida, os *softwares* são os programas, enquanto os *hardwares* são os dispositivos, ambos podem desempenhar os papéis de coletar ou processar dados.

Com o surgimento dessas tecnologias o processo de coleta e processamento de dados deixou de ser algo manual, feito pelo homem com entradas em um teclado, por exemplo, e passou a ser mais autônomo, ou seja, sensores/dispositivos captam informações do ambiente enviam essas informações para banco de dados, que estão conectados com os *softwares* responsáveis pelo processamento desses dados, esses por sua vez processam as informações e dão as respostas, por fim as respostas podem estar conectadas com outros dispositivos, programas ou podem ser geradas para o homem. Portanto, a palavra-chave para o sucesso da computação atualmente é a conexão: conexão entre pessoas, que com bases nos dados de saída tomam decisões; conexão entre os dados e as máquinas, que processam as informações; conexão entre os dados, que muitas vezes alimentam mais de um tipo de processo.

## COMPUTATIONAL SUSTAINABILITY

A Organização das Nações Unidas (ONU), em 1987, através de sua Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento e tendo como principal influenciadora Gro Harlem Brundtland, desenvolveu um documento chamado *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), esse documento identificou uma série de fatores que ameaçavam o futuro da sociedade e estabeleceu como uma das soluções para os problemas existentes a necessidade da implantação de um desenvolvimento sustentável, ou seja, um desenvolvimento que atenda às necessidades presentes sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem às suas necessidades (WCED, 1987).

Em 2010, Carla Gomes publicou seu primeiro artigo, *Computational Sustainability: Computational Methods for a Sustainable Environment, Economy, and Society*, que introduziu um novo conceito e domínio ao meio acadêmico da sustentabilidade, a sustentabilidade computacional. A sustentabilidade computacional (*computational sustainability*) pode ser tida como um novo domínio que surgiu a partir da evolução da computação, um domínio que tem como visão o fato de que os profissionais da computação podem e devem exercer um papel principal ajudando e identificando problemas sociais e ambientais em busca de um futuro sustentável, ao mesmo tempo em que avançam os estudos na ciência da computação. Tal visão não faz com que esse domínio tenha uma fácil implementação, muito pelo contrário, será a união de dois assuntos que envolvem problemas extremamente complexos: possibilitar um futuro sustentável com base em soluções computacionais (GOMES, 2010; GOMES et al., 2019).

Observando o potencial e a necessidade, tanto de uma rede de auxílio, quanto organização dessa nova linha de pesquisa, em 2016 foi criada a CompSusNet (*Computational Sustainability Network*), uma rede mundial de pesquisa patrocinada pela *National Science Foundation* (Fundação Nacional de Ciência - EUA), a rede explora novas tendências da pesquisa e organiza em um website todos os estudos relacionados com a *computational sustainability* (COMPSUSNET, 2021).

Para definir se uma solução tecnológica pode ser considerada integrante da sustentabilidade computacional estabeleceu-se três principais objetivos que devem ser seguidos ao longo do ciclo de vida da solução:

1. Identificar problemas: Identificar problemas envolvendo o equilíbrio ambiental, econômico, e necessidades sociais;
2. Formalizar projetos: Desenvolver projetos agregando ferramentas computacionais;
3. Prover soluções: Prover e aplicar soluções computacionais para os problemas, tendo em vista um futuro sustentável.

Além dos objetivos, a sustentabilidade computacional também possui três principais áreas de estudo: balanço das necessidades ambientais e socioeconômicas, conservação e biodiversidade, materiais e energias

sustentáveis e renováveis. Apesar de serem áreas com problemas e características distintas, elas são reunidas em um único domínio, o da sustentabilidade computacional, já que suas soluções computacionais podem ser compartilhadas, por exemplo, um modelo computacional dinâmico para determinar o ciclo migratório de uma espécie de pássaro (conservação e biodiversidade) após algumas modificações pode ser utilizado para estabelecer o ciclo de geração de uma energia renovável.

### **Balanço das Necessidades Ambientais e Socioeconômicas**

De acordo com uma previsão do The World Bank (2021), em 2017, existiam 696 milhões de pessoas vivendo abaixo da linha de pobreza, ganhando menos de 1,90 dólar por dia, tal número corresponde a 9,3% da população mundial da época. Dados dessa mesma pesquisa indicam que em 2018 mais de 40% (40,4%) da população vivendo abaixo da linha de pobreza encontra-se na África Subsaariana, devido a pobreza extrema existente nessa região encontrar dados confiáveis é extremamente difícil, a aplicação de um Censo, como o brasileiro não chega nem a ser considerado.

Entretanto, para o combate da pobreza é necessário possuir dados socioeconômicos, ter conhecimento sobre onde e como os mais pobres vivem, com esse problema em vista Jean *et al.* (2016) introduziram uma forma inovadora para obter indicadores espaciais de grande escala e socioeconômicos temporais, para isso eles treinaram uma rede neural utilizando dados disponíveis publicamente através de satélite e sensoriamento remoto, tal rede é capaz de estimar os gastos médios das famílias e obteve resultados mais precisos do que levantamentos feitos por dados telefônicos e de luminosidade no período noturno.

Outro problema, apontado por Barrett e Santos (2015), é a dependência de muitos moradores da região da África Subsaariana da cultura pastoril, essa depende de dados climáticos para determinar os locais mais indicados para o gado se alimentar e beber água. No entanto, devido ao alto custo dos equipamentos, a coleta de dados meteorológicos não existe em tais locais. Observando tal fato Giesen, Hut e Selker (2014) projetaram e implantaram uma rede de 20.000 estações meteorológicas de baixo custo (TAHMO) em toda a África Subsaariana, permitindo que a população consulte informações e determine as melhores áreas para desenvolver a agricultura pastoril, evitando a perpetuação do “ciclo da pobreza”.

### **Conservação e Biodiversidade**

Dados obtidos no *Global Biodiversity Outlook 5 (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2020)* indicam que 23,7% das espécies existentes em todo o planeta encontram-se ameaçadas de extinção, os níveis de desmatamento na Amazônia brasileira em 2019 mostraram seu maior valor desde 2008, superando um milhão de hectares. A perda da biodiversidade existe, assim como é necessário o movimento para sua conservação. Para isso Chen *et al.* (2018) desenvolveram o modelo *Deep Multivariate Probit Model (DMVP)*, um esquema de aprendizado ponta a ponta que utiliza o processo de amostragem paralelo eficiente do MVP e é capaz de explorar redes neurais profundas. Esse modelo possibilitou uma melhor visualização da distribuição de espécies de pássaros no território americano.

A segunda solução computacional foi estabelecida pelo Laboratório de Ornitologia da Universidade de Cornell nos Estados Unidos, um aplicativo para registrar a observação de pássaros, o uso do aplicativo tomou tal volume que atualmente apresenta 450.000 membros, reunindo mais de 650 milhões de dados sobre pássaros, correspondendo a mais de 30 milhões de horas de trabalho de campo. Essa solução teve como resultado diversos novos estudos, destaca-se o que foi feito por Reynolds *et al.* (2017), em seu estudo foi analisado os dados do aplicativo em conjunto com dados de satélite e elaborado um modelo preditivo de populações de pássaros aquáticos e a disponibilidade de áreas úmidas. Tal modelo foi essencial para estabelecer lacunas temporais e espaciais no habitat durante a migração anual dos pássaros. Com o descobrimento dessas lacunas foi possível incentivar donos de terras a desenvolverem habitats temporários, uma proposta para conservação das espécies, esse estudo teve tanto sucesso que é aplicado até os dias atuais e apresenta o nome de *BirdReturns*, já envolveu mais de 100 agricultores e criou mais de 58,000 acres de habitat de curto prazo auxiliando mais de 1.000.000 de patos, cisnes, gansos e outras espécies.

### **Materiais e Energias Sustentáveis e Renováveis**

A última área a ser discutida é a de materiais e energias sustentáveis e renováveis, provavelmente a área com maior número de estudos, principalmente pelo interesse econômico em gerar energia sem custo para as empresas. Porém o grande problema que envolve essa área de estudo não é a geração da energia, mas sim o seu armazenamento e a variação dessa produção. Em relação ao armazenamento, tem-se que o preço dos

equipamentos para armazenar energia são altos, em pesquisa realizada em 2020 por Bloomberg (BLOOMBERGNEF, 2020) o preço da bateria de lítio é em média 137 dólares por KWH. Já em relação a variação da produção da energia, diz respeito, principalmente, pelo fato de que existirão dias que não terão sol, vento (energia solar e eólica) ou existirão anos em que as chuvas serão escassas (hidrelétrica), quando essas situações acontecerem é necessário ter um “plano B”, uma outra fonte de energia ou um sistema de armazenamento. Tendo em vista tal problema, Khazaei e Powell (2018) criaram o *SMART-Invest*, um modelo de planejamento dinâmico estocástico, que é capaz de otimizar decisões de investimento em diferentes tecnologias renováveis. Esse modelo produz uma imagem realista da combinação ideal de energia eólica, solar e armazenamento, fornecendo uma orientação mais precisa para os formuladores de políticas.

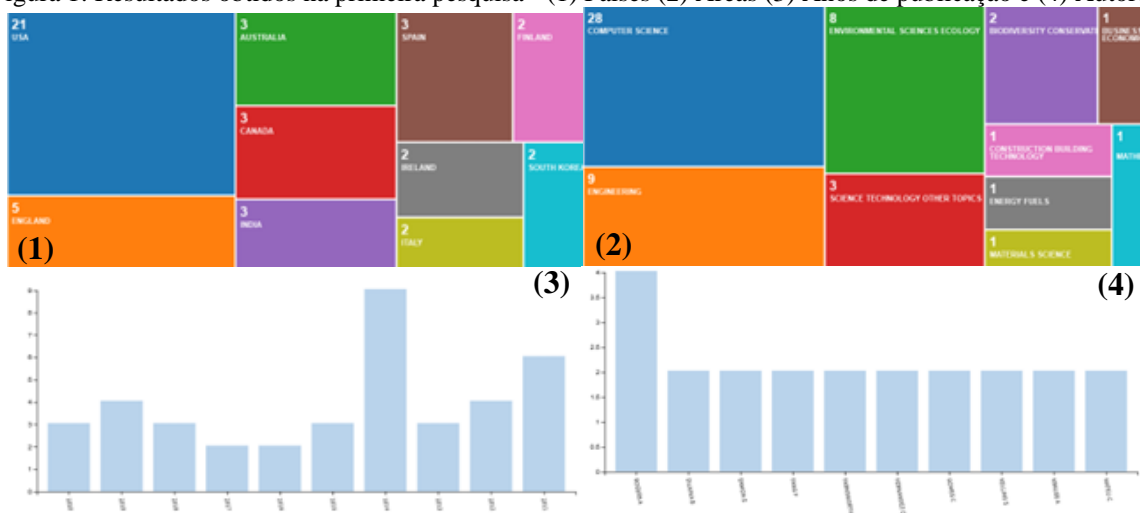
Enquanto isso, Wu *et al* (2018) trabalharam outra vertente, a energia gerada pelo movimento das águas (hidrelétricas). Geralmente a implantação dessas grandes construções causam impactos ambientais, negativos e positivos, mas a dificuldade é encontrada em determinar qual é maior, ou seja, se será vantajoso ou prejudicial a implantação, a essa “fronteira” é dado o nome de “fronteira de Pareto”. Os pesquisadores propuseram um esquema de aproximação polinomial em tempo baseado na Programação Dinâmica (DP), para calcular a curva polinomialmente sucinta da fronteira de Pareto resultante da construção de novas hidrelétricas na Bacia Amazônica.

### CENÁRIO DE PESQUISA BRASILEIRO

Para determinar o cenário de pesquisa foram realizadas três consultas na base de dados *Web of Science*, a primeira consulta envolveu o termo “*Computational Sustainability*”, a segunda foi realizada com a combinação de “*Computational Sustainability*” AND (“Brasil” OR “Brazil”) e a terceira foi com os termos “*Computational*” AND “*Sustainab\**” AND (“Brasil” OR “Brazil”), o período de pesquisa envolveu de 2009, ano que foi publicado o primeiro artigo dessa área de pesquisa, até 2020.

A primeira pesquisa teve como resultado 39 trabalhos, a segunda não teve nenhum resultado e a terceira teve 20 resultados. A seguir serão apresentados alguns aspectos dessas pesquisas e em seguida serão discutidos os resultados obtidos.

Figura 1: Resultados obtidos na primeira pesquisa - (1) Países (2) Áreas (3) Anos de publicação e (4) Autores.



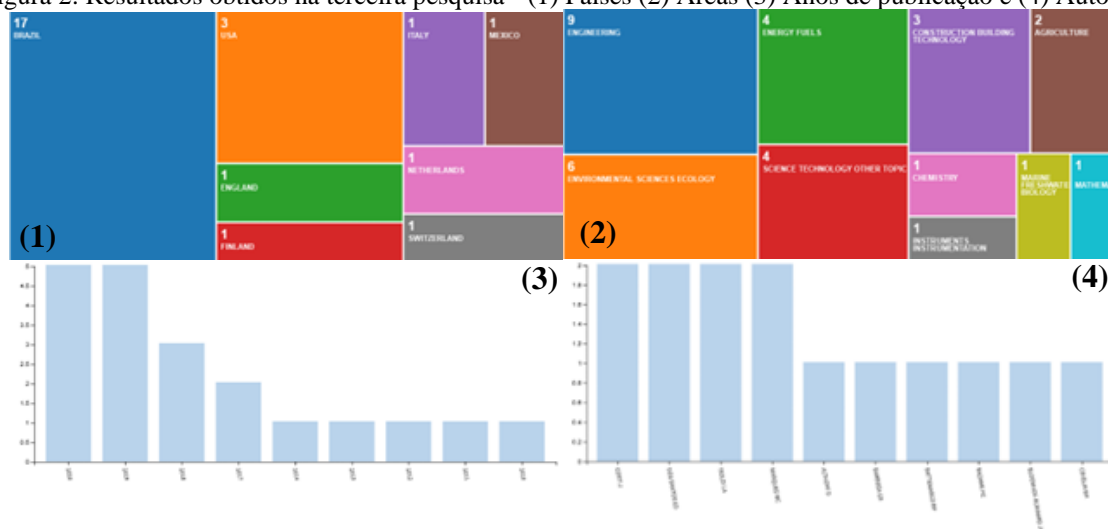
Em relação a primeira pesquisa (Figura 1) observa-se que a produção foi iniciada no ano de 2011, apresentando um “pico” de produção em 2014. Observa-se a prevalência das áreas de pesquisa relacionadas com a computação, onde 28 artigos estavam relacionados com a ciência da computação (71,8%), em seguida tem-se a engenharia com 9 artigos (23%) e completando o top 3 tem-se ciências ambientais/ecologia com 8 artigos (20.5%), destaca-se que o número total de artigos é maior do que o que foi encontrado na busca, pois existem artigos que são categorizados em mais de uma área.

Em relação os países que mais desenvolvem a pesquisa em primeiro lugar estão os Estados Unidos da América com quase 54% da produção, em segundo lugar está a Inglaterra com 12,82%, por fim existe um empate entre

Canadá, Índia, Austrália e Espanha, responsáveis por 7,7% da produção cada. O autor com maior número de publicações é Rogers A. com 4 publicações, em seguida existe um empate entre 15 autores diferentes com 2 publicações cada.

Em relação a terceira pesquisa (Figura 2) observa-se que a produção foi iniciada no ano de 2010, começando a se tornar mais expressiva nos últimos 2 anos (2019 e 2020), totalizando 50% de tudo que já foi produzido. As áreas de pesquisa são bem diversas, liderando está a engenharia com 9 artigos (45%), em seguida ciências ambientais/ecologia com 6 artigos (30%) e completando *energy fuel* com 4 artigos (20%). O país que mais desenvolveu a pesquisa foi o Brasil com 85% do que já foi produzido. Existe um empate entre os autores que mais produziram são 4 autores diferentes com 2 publicações cada, totalizando 40% (10% cada).

Figura 2: Resultados obtidos na terceira pesquisa - (1) Países (2) Áreas (3) Anos de publicação e (4) Autores.



## DISCUSSÃO

Com base no que foi encontrado por meio das três consultas realizadas na base de dados serão discutidos alguns aspectos importantes sobre a sustentabilidade computacional. Num primeiro momento observa-se que na primeira pesquisa, que utilizou somente a área de pesquisa na busca, existe tanto uma concentração da pesquisa nos Estados Unidos da América (EUA), provavelmente pelo país ter criado e estar desenvolvendo essa área de pesquisa, quanto uma prevalência da área de estudo da computação, já que a sustentabilidade computacional busca soluções computacionais para problemas da sustentabilidade. Um fator interessante é que se for somado todos os países europeus (56%), a produção deles supera a dos EUA, indicando que esse é um tema promissor também na Europa. A segunda pesquisa teve como objetivo demonstrar como a sustentabilidade computacional ainda não é um termo utilizado em território brasileiro, apesar da terceira pesquisa mostrar que existem estudos que podem ser relacionadas e integrarem essa área de pesquisa, ou seja, não é por uma falta de produção, na realidade é por falta de conhecimento sobre a área. Por fim, destaca-se como a terceira pesquisa demonstrou a multidisciplinaridade da *computational sustainability*, ao mesmo tempo pode ser feita uma crítica sobre o compartilhamento do conhecimento sobre soluções computacionais, os estudos brasileiros adotam as mais diversas ferramentas e tecnologias computacionais, entretanto quando consultadas as áreas de pesquisas, a ciência da computação não se encontra entre as principais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do estudo, que era investigar os aspectos da *computational sustainability*, apresentar alguns estudos e mostrar a perspectiva dessa área de pesquisa no Brasil foi alcançado. Durante o desenvolvimento do estudo foram observados alguns aspectos que podem definir a adoção da sustentabilidade computacional dentro de projetos para soluções sustentáveis, tendo-se:

1. Multidisciplinaridade: envolve as mais diversas áreas, permitindo a utilização de muitos diferentes profissionais;

2. Conectividade: exige a conexão de dados e informações, tanto entre as pessoas e as tecnologias, quanto entre as pessoas, tornando os processos mais dinâmicos;
3. Escalabilidade: pode ser que a mesma solução computacional seja aplicada nos mais diferentes problemas encontrados.

Por fim, tem-se que as pesquisas relacionadas a essa área tendem a aumentar, assim como a rede de colaboradores, sendo uma questão de tempo até as soluções serem adotadas em cenários ainda mais diversos. Entretanto, é necessário se atentar a alguns fatores limitantes para a área e que podem se tornar estudos futuros:

1. Qualificação: Exige um conhecimento do público em relação a área de estudo, principalmente no Brasil;
2. Custo: Apesar da redução do custo das tecnologias, elas ainda são caras quando comparadas com outras soluções práticas;
3. Proteção/Segurança: Por propor soluções computacionais, deve-se atentar com a proteção e privacidade dos dados gerados pelas aplicações.

## REFERÊNCIAS

- BARRETT, Christopher B.; SANTOS, Paulo. The impact of changing rainfall variability on resource-dependent wealth dynamics. *Ecological Economics*, v. 105, 2014. p. 48-54. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.05.009>>. Acesso em 20 mai. 2021.
- BLOOMBERGNEF. Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh. BloombergNEF: 16 dez. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3LPhETC>>. Acesso em 1º mai 2021.
- CHEN, D., XUE, Y., GOMES, C. End-to-end learning for the deep multivariate probit model. *ICML*, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.08591>>. Acesso em 1º mai 2021.
- COMPSUSNET. Computational Sustainability Network. 2021. Disponível em: <<https://www.compsust.net/>>. Acesso em 1º mai 2021.
- COMPUTAÇÃO. In: MICHAELIS, **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3rdY6il>>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- COMPUTAR. In: MICHAELIS, **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3E1NryS>>. Acesso em: 19 mai. 2021.
- GIESEN, N., HUT, R., SELKER, J. The Trans-African Hydro-Meteorological Observatory (TAHMO). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 1, n. 4, 2014, p. 341–348.
- GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint. 2021. Disponível em: <<https://data.footprintnetwork.org/#/>>. Acesso em 18 mai. 2021.
- GOMES, Carla. Computational Sustainability: Computational Methods for a Sustainable Environment, Economy, and Society. In: National Academy Of Engineering. **Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2009 Symposium (2010)**. Washington, DC: The National Academies Press, 2010. p. 27-39. Disponível em: <<https://doi.org/10.17226/12821>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- GOMES, C. *et al.* Computational Sustainability: Computing for a Better World and a Sustainable Future. *Communications of the ACM*, v. 62, n. 9, set. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3339399>>. Acesso em 1º mai 2021.
- JEAN, Neal *et al.* Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty. *Science*, v. 353, n. 6301, 2016. p. 790–794. Disponível em <<https://doi.org/10.1126/science.aaf7894>>. Acesso em 20 mai. 2021.
- KHAZAEI, J., POWELL, W.B. SMART-Invest: A stochastic, dynamic planning for optimizing investments in wind, solar, and storage in the presence of fossil fuels. The case of the PJM electricity market. *Energy Systems*, v. 9, n. 2, 2018. p. 277–303.
- REYNOLDS, M.D. *et al.* Dynamic conservation for migratory species. *Science Advances*, v. 3, n. 8, 2017. Disponível em: <<https://www.doi.org/10.1126/sciadv.1700707>>. Acesso em 20 mai. 2021.
- SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. Global Biodiversity Outlook 5. Montreal: 2020. Disponível em: <<https://www.cbd.int/gbo/gbo5/publication/gbo-5-en.pdf>>. Acesso em 20 mai.2021.
- THE WORLD BANK. Poverty e Equity Data Portal. 2021. Disponível em <<https://povertydata.worldbank.org/Poverty/Home>>. Acesso em 20 mai. 2021.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Our Common Future**. ONU: 1987. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- WU, X. *et al.* Efficiently approximating the Pareto frontier: Hydropower dam placement in the Amazon basin. In: *AAAI*, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1609/aaai.v32i1.11347>>. Acesso em 1º mai 2021.