



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

## INTERFACE DE NOVAS TECNOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE EMISSÕES DE GEE

Talita dos Santos Sturba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 – Cidade Universitária, São Paulo-SP, talita.esturba@usp.br

**GT 05:** Aspectos críticos, oportunidades e desafios para o enfrentamento da crise climática

### RESUMO

A mudança climática representa um dos maiores desafios atuais, especialmente no que se refere ao enfrentamento do aumento da temperatura média global até o final do século. Esses desafios são evidenciados pela ultrapassagem de limites críticos nos sistemas biofísicos do planeta, sinalizando impactos relevantes sobre a estabilidade ambiental e o bem-estar das sociedades. No contexto brasileiro, o setor de mudança do uso da terra e floresta destaca-se como a principal fonte emissora de gases de efeito estufa. Diante desses desafios, diversas ferramentas tecnológicas vêm sendo incorporadas, como os gêmeos digitais, que permitem a integração de dados de sensores, imagens de satélite e algoritmos de inteligência artificial para gerar simulações em tempo real, otimizando processos de decisão. Embora os inventários de emissões de gases de efeito estufa sejam ferramentas amplamente utilizadas para monitoramento em escala local, novas abordagens têm se mostrado promissoras para análises em escalas regional e global, proporcionando uma forma diferenciada para a compreensão e gestão das emissões de gases de efeito estufa e dos impactos da mudança climática.

**Palavras-chave:** Mudança climática, Inventários de gases de efeito estufa, Inovação digital

### Destaques (highlights)

- A crise climática demanda urgência em seu enfrentamento e as propostas de Contribuições Nacionalmente Determinadas atuais se mostram insuficientes
- No Brasil, a mudança no uso da terra é a principal fonte de emissões, demandando prioridade nas ações de controle e monitoramento de emissões de gases de efeito estufa e de remoções



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

- Ferramentas como gêmeos digitais e inteligência artificial ampliam a capacidade de resposta climática e podem aumentar a velocidade no enfrentamento deste desafio
- É preciso equilibrar inovação tecnológica com justiça ambiental para que não haja negligenciamento das necessidades locais e de populações vulneráveis durante as tomadas de decisão

## INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios postos à sociedade atual está no enfrentamento das consequências da mudança climática. Em 2024 foi observado um acréscimo na temperatura média global da ordem de 1,28°C em relação aos níveis pré-industriais (NASA, 2025). Sob as políticas vigentes, projeções indicavam que a temperatura média global poderia registrar um aumento de 2,7°C até o ano de 2100. Buscando traçar uma meta para frear o aumento da temperatura global com base na redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), 178 partes (representando 177 países) submeteram suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (sigla em inglês NDC – *National Determined Contribution*) ou as atualizaram no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC) onde definiriam qual o potencial individual de redução em termos de suas emissões, representando 94 % das emissões globais totais (CLIMATE ACTION TRACKER, 2023). Mesmo considerando as metas estabelecidas nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do período, compromissos assumidos por diversos países para frear as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), previa-se um aumento de 2,4°C na temperatura global. Em um cenário mais otimista, onde todas as metas das NDCs fossem desempenhadas com sucesso, o aumento médio da temperatura global estaria na marca de 1,8°C acima dos níveis pré-industriais. Estes dados reforçam a necessidade da intensificação das ações políticas implementadas para atingir os objetivos climáticos globais, evidenciando a urgência de incrementar esforços de mitigação para limitar de forma efetiva o aquecimento global (CLIMATE ACTION TRACKER, 2023). Ainda, mudança climática é uma das fronteiras planetárias onde as atividades antrópicas já estariam ultrapassando o limite proposto para desenvolvimento seguro das gerações futuras. O conceito de fronteiras planetárias descreve nove limiares críticos nos sistemas biofísicos da Terra que a humanidade deve respeitar para garantir o desenvolvimento sustentável e a

Apoio:



Realização:



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
SUSTENTABILIDADE



Financiamento:





**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

prosperidade a longo prazo. Em setembro de 2023, cientistas quantificaram os nove processos, sendo eles: mudança climática, integridade da biosfera, mudanças no sistema terrestre, mudanças na água doce, fluxos biogeoquímicos, acidificação dos oceanos, carga de aerossóis na atmosfera, destruição da camada de ozônio estratosférico e novas entidades (que inclui marcadores geológicos antrópicos, como microplásticos, desreguladores endócrinos, poluentes orgânicos, materiais radioativos mobilizados antropogenicamente, incluindo resíduos nucleares e armas nucleares e modificação humana da evolução como organismos geneticamente modificados). Esta última atualização revelou que seis dos nove limites já foram ultrapassados, representando um risco significativo de desencadear mudanças ambientais em grande escala, abruptas ou irreversíveis. As conclusões enfatizam a natureza interligada destas fronteiras, sublinhando que um enfoque exclusivo nas alterações climáticas é insuficiente para a sustentabilidade (Stockholm University, 2023).

Analisando o recorte brasileiro de emissões de gases de efeito estufa, o destaque é o setor de mudança do uso da terra e floresta, que desempenha um papel de relevância nas emissões nacionais de gases de efeito estufa (GEE), respondendo por 48,3% das emissões totais do Brasil em 2022 e por parte das remoções. As alterações do uso da terra representam 93% das emissões no setor de MUTF em 2022, 5% estão associadas à queimada e 2% às alterações no estoque de carbono orgânico no solo (SEEG, 2023). Considerando as emissões brutas no setor, 97% representam desmatamento, deste total, 75% são provenientes da Amazônia (837 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e), decorrentes do avanço da pecuária sobre as florestas (SEEG, 2023a).

Já a importância do setor agropecuário se deve tanto à extensão do setor no país quanto às práticas e processos específicos utilizados na agricultura e pecuária. As atividades agropecuárias, como a criação de gado e diferentes tipos de cultivo, são fontes relevantes de emissões de metano e óxido nitroso, gases com um potencial de aquecimento global consideravelmente maior que o dióxido de carbono, gerando um impacto maior nas mudanças climáticas. Além disso, o desmatamento que pode ocorrer para expansão agrícola contribui substancialmente para o aumento das emissões no Brasil (SEEG, 2023).

Vale ressaltar que esses resultados correspondem ao ano de 2022, contudo, em 2024 observou-se um aumento expressivo no total de áreas queimadas do país e consequentemente das emissões de GEE associadas a essa conversão de uso da terra.



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

Diante do desafio de compreender a melhor forma de prever os impactos da mudança climática, acelerando processos de tomadas de decisão de ações que possam minimizar esses impactos, ou para melhor identificar as principais fontes emissoras dos GEE, diversas ferramentas tecnológicas estão sendo implementadas para acelerar as análises, buscando celeridade nas ações preventivas ou reparativas. O gêmeo digital, ou digital twin, é uma representação de objetos físicos ou de processos em um ambiente virtual, criando uma réplica em ambiente digital, através de dados provenientes de sensores ou de outras fontes que permitam as leituras e análises em tempo real trazendo sincronidade nas análises e possibilidades de tomadas de decisão em tempo real (SHERMAN, W. R., & CRAIG, A. B, 2018). Os dados de entrada que alimentam o sistema são processados e integrados à réplica digital, que filtra e traduz as informações pertinentes para determinadas análises. A partir dessas informações é possível gerar simulações para maior entendimento do objeto que está sendo analisado e visualizar perfis de interesse com base em representações gráficas ou até mesmo a partir de instrumentos de realidade aumentada . As aplicações são diversas, como por exemplo, monitoramento de desempenho de equipamentos, previsão de falhas, simulação de cenários para apoiar na tomada de decisões, aumento de eficiência ou minimização de riscos (SHERMAN, W. R., & CRAIG, A. B, 2018).

## **METODOLOGIA**

Considerando premissa de análise quantitativa de que só se pode gerenciar aquilo que há condições de mensurar, as emissões de gases de efeito estufa precisam ser devidamente estimadas para um partir de um bom gerenciamento de emissões e as emissões são estimadas por meio de inventários. Esses inventários calculam as emissões e remoções que ocorreram em determinado período e local pré-definidos. As emissões são determinadas a partir de dados de atividades relacionadas ao consumo, produção ou outras atividades que envolvem a geração de gases de efeito estufa, utilizando fatores de emissão disponibilizados em estudos como os do IPCC, ou através mesmo de estudos realizados dentro de determinadas empresas para avaliar as emissões de determinadas atividades específicas (FGV, WRI, 2008). A estimativa de emissões apresenta também suas incertezas. Mesmo o IPCC considera que as escolhas metodológicas podem variar conforme a disponibilidade das informações de consumo ou de atividade e a existência de fatores de emissão mais ou menos específicos para

Apoio:



Realização:



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
**SUSTENTABILIDADE**



Financiamento:





**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

determinadas situações. Nos cadernos do IPCC nos são apresentadas as possíveis formas de cálculo separadas em Tier 1, Tier 2 e Tier 3, onde o Tier 1 apresenta as emissões calculadas de forma mais genérica, representando o potencial de emissão que determinada atividade apresentaria. O Tier 2 apresenta uma forma de cálculo onde informações mais específicas podem ser disponibilizadas, como dados regionalizados, ou coleta de informações mais precisas. O Tier 3 apresenta o cálculo baseados em modelos ou medições em suas formas mais detalhadas, podendo apresentar informações no nível da determinada planta, por exemplo (IPCC, 2006).

Em situações de mudança de uso do solo, por exemplo, em áreas extensas como as de um país de dimensões comparáveis ao Brasil, são adquiridas imagens de satélite antes e depois da mudança mapeada. Utilizando técnicas de sensoriamento remoto, é possível identificar variações no uso do solo, como desmatamento ou reflorestamento. Com base nessas variações e estimativas do conteúdo de carbono para cada tipo de uso do solo, podemos calcular a mudança na quantidade de carbono na área observada (MCTI, 2020).

O monitoramento de emissões de GEE acontece através dos inventários de emissões e remoções de GEE que cada país, empresa, organização, ou parte interessada realiza. Essas estimativas se baseiam nas informações de consumo e atividades de cada inventariante, como consumo de combustíveis fósseis, áreas onde ocorrem mudanças no uso do solo, criação de animais, atividades industriais e transporte de pessoas e produtos. Esses dados são posteriormente associados a fatores de emissão para a realização das estimativas das emissões e das remoções (MCTI, 2020; IPCC, 2006).

As informações contidas nos inventários de GEE são estimativas, e apesar de conter alto nível de detalhamento e uma proximidade com a realidade de emissões e remoções, conforme seu grau de detalhamento, não necessariamente são representações fidedignas da realidade. Além de possuírem uma margem de erro inerente ao cálculo, existe uma lacuna nos relatos fazendo com que uma parte relevante das emissões de um país não necessariamente apresentem alto nível de detalhe ou uma gestão adequada daquilo que de fato possa ter sido emitido à atmosfera. No Brasil, por exemplo, foi mapeado que em 2023 434 organizações reportaram seus inventários no Registro Público de Emissões, plataforma sediada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) para dar transparência ao relato das emissões e uma das plataformas mais utilizadas nacionalmente para este fim. O total de emissões apresentadas por essas



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

organizações representou 53,9% das emissões de processos industriais do país e 0,3% das emissões de mudança no uso do solo (FGV, 2024), ou seja, apesar das válidas iniciativas para monitoramento das emissões de GEE e da transparência que essas iniciativas demandam para efetivar os relatos, há uma ausência de representatividade para a real expressão da realidade em termos de dados.

O inventário de GEE é uma ferramenta que apoia os processos de transparência de informação e pode ser utilizado para aumentar o grau de gestão em termos de emissões e remoções, criação de metas de redução das emissões, e também pode desempenhar papel na responsabilização das entidades por suas emissões em cenários de mercado de carbono ou de taxaço (FGV, WRI, 2008).

Em uma visão *top-down*, onde as análises ocorrem com menores níveis de detalhamento e de formas mais gerais, olhando de cima-para-baixo, atualmente é possível observar diversos casos onde o uso de sensoriamento remoto e imageamento de satélites possui a finalidade de mapeamento de emissões de diversos compostos, dentre eles e inclusive, os GEE, como o TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI), Orbiting Carbon Observatory-3 (OCO-3) e MethaneSAT (TROPOMI, 2024; OCO-3, 2024; METHANSAT, 2024). A vantagem do uso desse tipo de informação reside no fato de o imageamento contemplar porções maiores de espacialidade, porém, existe a perda no nível de detalhe. Há também casos sendo incentivados com o uso de tecnologias que utilizam de inteligência artificial para o reconhecimento a nível de espécies florestais, porém, demandando um imageamento de alto detalhamento (EMBRAPA, 2024).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

O uso de tecnologias para acompanhamentos ambientais já é uma realidade. Uma série de iniciativas podem ser observadas em prática, como o uso de monitoramento de desmatamento através do uso de imagens de satélites (IPAM, 2024) ou o acompanhamento de emissões de metano em tempo real (METHANSAT, 2024). Projetos que combinam o mapeamento com novas tecnologias, buscando a geração de um gêmeo digital de proporções planetárias também são observados em uma tentativa de replicar os mecanismos e funcionamentos de forma digital, aumentando a possibilidade de previsibilidade de eventos. Nesse sentido, busca-se ter um modelo onde seja possível criar cenários considerando a escala global, com a possibilidade de



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

especificação até a realidade local (ANANDKUMAR, A., KASHINATH, K., PRITCHARD, M., 2023).

Para o monitoramento de emissões e remoções de gases de efeito estufa em escala local através de estimativas é amplamente utilizado o conceito de inventário de emissões e remoções de GEE, porém, o uso de novas ferramentas vem sendo amplamente incentivado para buscar o monitoramento em escalas maiores, diminuindo as lacunas de informações e possibilitando um aumento no mapeamento e na gestão das emissões, objetivando por fim a redução das emissões em escala global e o freio dos impactos das mudanças climáticas. A partir dessas informações está sendo criada uma base com grande quantidade de dados que está sendo utilizada por modelos de inteligência artificial para a estruturação de modelos preditivos no sentido climático, através de uma previsão do tempo que utilize o contexto regional presente mais do que as séries temporais para a predição, considerando a variabilidade climática experimentada devido à mudança climática (EMBRAPA, 2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS OU CONCLUSÃO

A variedade na disponibilidade de novas tecnologias traz não apenas novas formas de contabilização de emissões de gases de efeito estufa, como também novas metodologias para o mapeamento dos impactos da mudança climática em diferentes escalas. O avanço de ferramentas como inteligência artificial, sensores remotos, satélites de alta resolução e gêmeos digitais tem impulsionado a criação de modelos preditivos mais robustos, oferecendo um potencial diagnósticos e respostas em alta velocidade.

Enquanto os inventários de GEE ainda se mostram fundamentais para o monitoramento em escala individual, novos modelos podem contribuir para as análises em escala regional e global, suprimindo brechas e ausências de informações eventualmente deixados pela ausência do mapeamento total das emissões na realidade individual. Porém, vale ressaltar que é necessária cautela para as análises de emissões em escalas individuais e atribuições de responsabilidades a partir de métodos que ainda estão sendo estudados e não têm seus resultados atestados e que não necessariamente tragam transparência em relação às incertezas associadas aos cálculos.

Ainda, modelos podem trazer diversos resultados relevantes às tomadas de decisão imediatas a título de mapeamento de impactos da mudança climática e sua variabilidade no curto prazo,



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

porém a definição de relevância ou a priorização das ações de atuação devem ser tomadas com cautela para não ficarem reféns de grupos minoritários em termos de tomada de decisão. Em ambientes onde decisões humanas nem sempre estão em consonância com as demandas ambientais pode-se gerar uma ilusão na responsabilização de uma única variável na tomada de decisão, diminuindo a relevância que o próprio ambiente possui e nas suas dinâmicas.

Vale trazer ao debate que modelos preditivos podem apresentar maiores margem de incerteza conforme se aumenta a escala temporal, podendo levar a conclusões inesperadas. Ainda, é possível vislumbrar cenários onde os resultados imediatos, ou de curto prazo, de modelos preditivos possam apresentar consequências indesejadas, com impactos a determinadas populações, ou eventos extremos climáticos em determinadas regiões representadas por comunidades por vezes desprovidas de poder de decisão sobre as ações globais, porém, no longo prazo, possam apresentar cenários prodigiosos em outras localidades.

Modelos alimentados por dados de sensores físicos ao redor do globo podem levar a decisões que não necessariamente mapeiam anseios de comunidades regionais, ou a necessidade real de determinada população, padecendo sob a definição do que se é relevante partindo dos próprios modelos e de seus executores.

## REFERÊNCIAS

ANANDKUMAR, A.; KASHINATH, K.; PRITCHARD, M. *NVIDIA's Earth -2: Digital Twins for Weather and Climate*, 2023. Disponível em: <https://www.nvidia.com/en-us/on-demand/session/gtcfall22-a41326/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

CLIMATE ACTION TRACKER. *2030 Emissions Gap: CAT projections and resulting emissions gap in meeting the 1.5°C Paris Agreement goal*. Nov. 2022. Disponível em: <https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/>. Acesso em: 1 out. 2023.

EMBRAPA. *Metodologia com inteligência artificial identifica espécies florestais de valor comercial*, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/88417184/metodologia-com-inteligencia-artificial-identifica-especies-florestais-de-valor-comercial>. Acesso em: 02 mai. 2024.



XII  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

FGV; WRI. *Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa*. 2008. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/c7c1073a-44dc-489b-8c3c-da456d740592/content>. Acesso em: 20 abr. 2024.

FGV. *Relatório anual do Programa Brasileiro GHG Protocol*. 2023. Disponível em:

[https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/u1087/relatorio\\_anual\\_pbghg\\_ciclo2023.pdf](https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/u1087/relatorio_anual_pbghg_ciclo2023.pdf).

Acesso em: 20 mar. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA – IPAM. *Monitoramento do desmatamento por satélite*. Disponível em: <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/desmatamento-em->

[foco/#:~:text=Tratava%2Dse%20de%20um%20sistema,ser%20convertida%20em%20corte%20raso](https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/desmatamento-em-foco/#:~:text=Tratava%2Dse%20de%20um%20sistema,ser%20convertida%20em%20corte%20raso). Acesso em: 1 abr. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI. *Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima: Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatório de Referência – Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas*. 2020.

METHANESAT. *Purpose*. 2024. Disponível em: <https://www.methanesat.org/purpose/>.

Acesso em: 02 maio 2024.

NASA. *Vital signs: global temperature*. 2025. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>. Acesso em: 26 jun. 2025.

OCO-3. *What's new with OCO-3?*. 2024. Disponível em: <https://ocov3.jpl.nasa.gov/whats-new-oco-3/>. Acesso em: 02 maio 2024.



**XII**  
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL  
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL  
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS  
DESIGUALDADES SOCIAIS  
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. *Infográfico Agropecuária*. 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-infografico-Brasil-BR-2021-agropecuaria-rev-scaled.jpeg>. Acesso em: 1 nov. 2023.

SEEG. Relatório Anual – Análise das Emissões de Gases de Efeito Estufa e Suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil 1970 – 2022. 2023a. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/02/SEEG11-RELATORIO-ANALITICO.pdf>. Acesso em: 25 set. 2024.

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. *Understanding virtual reality: interface, application*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-18583-2>.

STOCKHOLM UNIVERSITY. *Planetary boundaries*. 2023. Baseado em RICHARDSON et al., 2023; STEFFEN et al., 2015; ROCKSTRÖM et al., 2009. Disponível em: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>. Acesso em: 3 dez. 2023.

TROPOMI. *TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI)*. 2024. Disponível em: <https://www.tropomi.eu/>. Acesso em: 02 maio 2024.