

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CO<sub>2</sub>FLUX NO PROJETO DE ASSENTAMENTO ASSURINI - PA

Giuliana dos Santos Coelho <sup>1</sup>  
Bruna de Oliveira Lima <sup>2</sup>  
Erika Gonçalves Pires <sup>3</sup>  
Bernardo Barbosa da Silva <sup>4</sup>

### INTRODUÇÃO

A Amazônia desempenha um importante papel no ciclo global do carbono devido à sua extensão territorial de florestas tropicais, que são grandes sumidouros de CO<sub>2</sub> (Macambira, 2021). Contudo, o desmatamento e a degradação florestal têm impactado diversas áreas deste bioma, tornando-se fontes de emissão de CO<sub>2</sub> (Brasil Amazônia Agora, 2023).

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI (2021), a dinâmica de uso da terra tem influência em diversas variáveis ambientais, particularmente em regiões de grande importância ecológica como a Amazônia. Estudos recentes indicam que as emissões e remoções de gases de efeito estufa estão intimamente ligadas às mudanças no uso e cobertura da terra, o que pode influenciar significativamente as estratégias de mudanças climáticas (MCTI, 2021).

A modificação do uso da terra impacta diretamente indicadores como o CO<sub>2</sub>flux, que mede a quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberada em determinada área, estimado através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Um dos objetivos desse índice consiste em avaliar a saúde e a densidade da vegetação em uma determinada área, ambos essenciais para compreender a saúde ambiental e os efeitos das mudanças climáticas (Silva; Faria, 2023).

O CO<sub>2</sub>flux é resultante da integração dos índices NDVI e PRI (Índice de Reflexão Fotoquímica), proposto por Rahman et. al (2001). Deste modo, este indicador

---

<sup>1</sup>Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, [giuliana.coelho@altamira.ufpa.br](mailto:giuliana.coelho@altamira.ufpa.br) ;

<sup>2</sup>Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, [brunalimma002@gmail.com](mailto:brunalimma002@gmail.com)

<sup>3</sup>Doutora do Curso de Geografia pela Universidade Federal de Goiás - UFG, [erikapires@ifto.edu.br](mailto:erikapires@ifto.edu.br)

<sup>4</sup>Professor orientador: Doutor, professor da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [bbdasilva.ufpe@gmail.com](mailto:bbdasilva.ufpe@gmail.com)

permite avaliar a eficiência da fotossíntese das plantas, além de ser utilizado para medir o estoque de carbono na vegetação natural.

No que tange ao processo de análise e manutenção desses dados, sensoriamento remoto é uma ferramenta fundamental para quantificar esses índices, permitindo uma análise precisa e abrangente das alterações no uso da terra (Silva; Faria, 2023). As ferramentas de estudo disponíveis possibilitam a quantificação das variáveis NDVI e CO<sub>2</sub>flux, proporcionando uma avaliação detalhada de como as mudanças nos assentamentos humanos e na cobertura vegetal contribuem para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>.

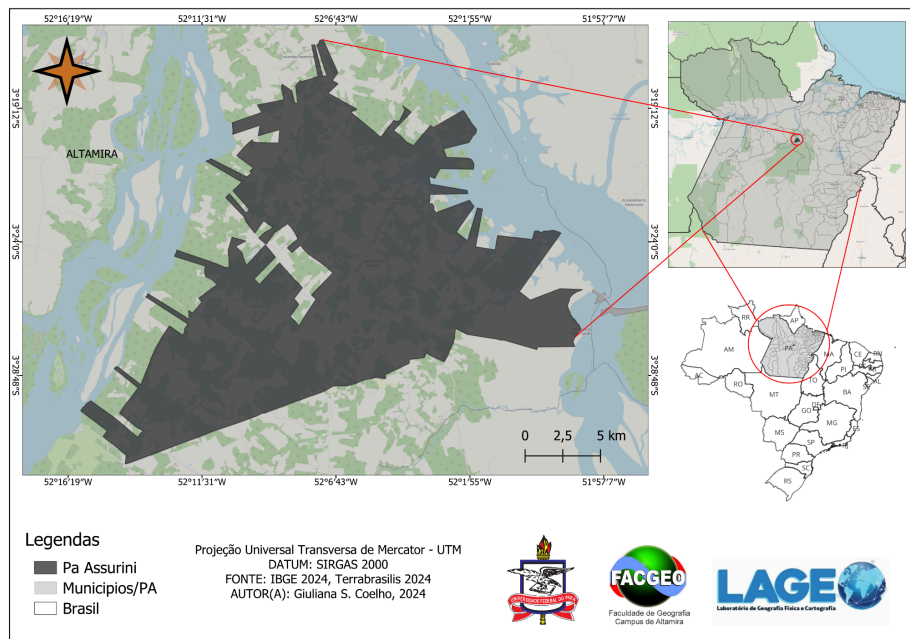
A análise desses dados é essencial para entender a relação entre o uso da terra e as emissões de gases de efeito estufa, oferecendo visões importantes para a formulação de políticas ambientais e estratégias de mitigação. Sendo assim, a área escolhida para este estudo foi o Projeto de Assentamento (PA) Assurini, tendo em vista que esse PA está ligado a uma forte dinâmica de uso e ocupação da terra, tanto por causas naturais quanto por intervenção humana.

Em função disso, o objetivo deste trabalho é avaliar como a dinâmica de uso e ocupação da terra no PA Assurini, entre os anos de 2011, 2015 e 2023, contribui para a emissão de gases de efeito estufa, tendo como base o índice CO<sub>2</sub>flux.

## **METODOLOGIA**

O Projeto de Assentamento Assurini, localizado no município de Altamira, Pará (Figura 1), foi criado em julho de 1995 e atualmente abrange uma área de 34.579,1243 hectares, com capacidade para abrigar 500 famílias assentadas (INCRA, 2024). A ocupação da área por essas famílias trouxe diversidade cultural e econômica, sendo o uso dos recursos vegetais um elemento significativo nesse contexto (SBPC, 2009).

Figura 1: Mapa de localização do PA Assurini/PA.



Fonte: Autores, 2024.

Para analisar a área, foram utilizadas imagens dos anos de 2011, 2015 e 2023 da linha de satélites *Landsat*, sendo a imagem de 2011 do satélite *Landsat 5* sensor TM e as demais do satélite *Landsat 8* sensor *OLI*, datadas de 04 de julho de 2011, 15 de julho de 2015 e 25 de outubro de 2023, respectivamente, adquiridas através da plataforma do *Google Earth Engine (GEE)*.

Primeiramente foi definida a área de interesse e importadas as coleções de imagens de *Landsat 5* e 8. Depois disso, foram definidos os anos de estudo e selecionadas as imagens com melhor qualidade, considerando a menor cobertura de nuvens sobre a área de estudo, levando em consideração que, a região Amazônica contém cobertura de nuvens durante todo o ano, sendo necessário a busca de imagens com a menor quantidade de cobertura de nuvens.

A próxima etapa consistiu no cálculo do NDVI (Equação 1), utilizando as bandas B3 (L5) e B4 (L8), que representa o vermelho sendo utilizada pela vegetação durante o processo de fotossíntese, e das bandas B4 (L5) e B5 (L8) que representa o infravermelho, resultado da reflectância decorrida do mesmo processo. Esse cálculo é baseado na relação entre o vermelho e o infravermelho, sendo que o valor pode variar entre -1 e 1. Deste modo, quanto maior o valor do NDVI mais atividade fotossintética da vegetação.

Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

Com o resultado do NDVI é possível estimar a biomassa da vegetação e relacioná-la ao estoque de carbono (Coltri et al., 2009). Para calcular o índice PRI, responsável por mensurar os pigmentos de carotenoides da folhagem, foram utilizadas as reflectâncias das bandas do verde e do azul, variando entre -1 e 1, obtida a partir da Equação 2:

Equação 2:

$$PRI = \frac{BLUE-GREEN}{BLUE+GREEN}$$

Cabe destacar que o índice PRI, tem relação com a eficiência do uso de luz fotossintético (Rahman et al., 2001). Porém, o resultado precisa ser reescalado para valores positivos, necessários para realização do cálculo para sequestro de carbono. O resultado desses valores é chamado de índice sPRI, variando entre 0 e 1, onde valores mais próximos de 1 indicam maior eficiência fotossintética e saúde da vegetação (Baptista, 2004, 2003), podendo ser obtido a partir da Equação 3 a seguir:

Equação 3:

$$sPRI = \frac{(PRI+1)}{2}$$

Dessa forma, o índice PRI é ajustado para a mesma escala do NDVI, permitindo sua multiplicação e subsequente combinação, resultando no cálculo do valor do CO<sub>2</sub>flux, conforme demonstrado na Equação 4.

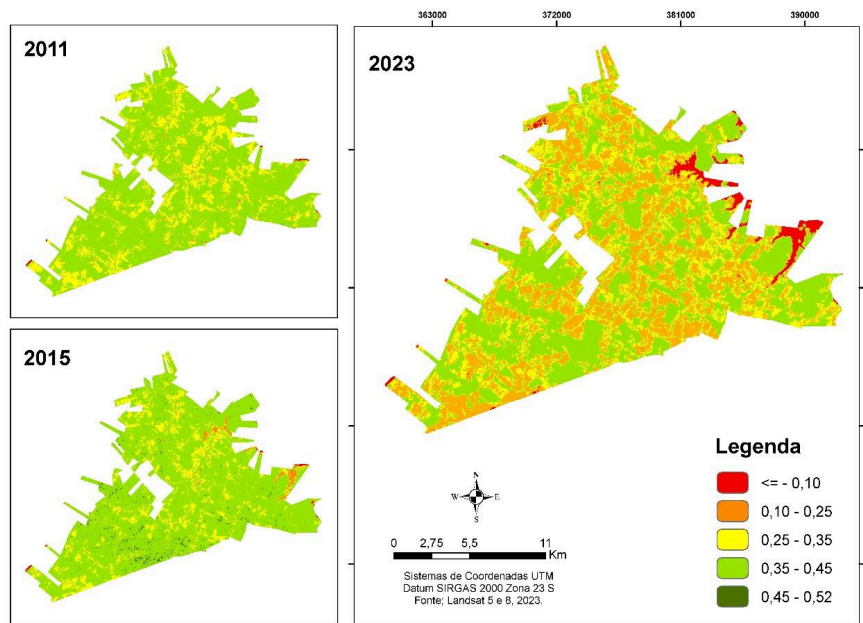
Equação 4:

$$CO_2flux = sPRI \times NDVI$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar as imagens referentes à aplicação do CO<sub>2</sub>flux entre os anos de 2011, 2015 e 2023 (Figura 2), é possível observar o aumento das áreas com menor densidade de vegetação ao longo dos anos estudados, ocorrendo principalmente entre os anos de 2015 e 2023, mas tendo um crescimento de 2011 para 2015.

Figura 2: Mapa de CO<sub>2</sub>flux do PA Assurini dos anos de 2011, 2015 e 2023.



Fonte: Autores, 2024

A Figura 2 mostra imagens de CO<sub>2</sub>flux obtidas a partir da combinação dos índices NDVI e sPRI, com valores variando entre 0,10 e 0,52 durante todo o período estudado. É importante notar que valores inferiores a 0,10 (em vermelho) indicam superfícies sem cobertura vegetal. Valores entre 0,25 e 0,35 (em laranja e amarelo) representam áreas com pouca vegetação ou ocupação de terra. Já valores entre 0,45 e 0,52 (em verde-claro e verde-escuro) correspondem a áreas com indicação de vegetação mais densa.

Durante o período analisado, podemos verificar uma significativa alteração entre os valores de NDVI e sPRI. No período entre 2011 a 2015, observa-se um aumento do quantitativo de áreas com baixa cobertura vegetal, com valores próximos a 0,25, quase inexistentes no ano de 2011. Essas áreas apresentaram um aumento significativo em 2023, com surgimento de regiões com valores de -0,10, o mais baixo para identificar áreas sem nenhum tipo de cobertura vegetal. Esse fato está associado às mudanças na paisagem no PA Assurini, causadas pelo desvio do leito rio Xingu, em decorrência da construção da UHE de Belo Monte.

Além disso, áreas correspondentes a valores entre 0,25 e 0,35 indicam uma menor densidade vegetal, sugerindo que se tratam de pastagens e áreas com vegetação secundária. Locais com essa descrição podem indicar uma atividade pecuária

significativa na região, possivelmente influenciada pela presença de agricultores familiares e pela expansão da agricultura, segundo os dados fornecidos pelo INCRA.

Cabe destacar que os valores mais baixos de  $\text{CO}_2\text{flux}$  indicam uma diversidade na cobertura vegetal, essas regiões que possuem menores densidades de vegetação apresentam, conseqüentemente, um baixo sequestro de carbono e uma maior emissão de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera.

Os valores entre 0,35 e 0,52 sugerem uma presença significativa de cobertura florestal na região. Observa-se que essa área foi reduzida em comparação aos anos anteriores a 2023. Essa queda indica um aumento na ocupação de terras na região, mesmo com a redução do desmatamento em 2023, que foi o mais baixo registrado desde 2022, segundo o WWF Brasil. Ainda assim, o desmatamento em 2023 representa um aumento significativo em comparação aos anos de 2011 e 2015. Valores elevados de  $\text{CO}_2\text{flux}$ , como entre 0,35 e 0,52, indicam uma vegetação bem desenvolvida apresentando um maior potencial de sequestro de carbono, tendo o fluxo de  $\text{CO}_2$  mais elevado.

Diante do exposto, podemos concluir que a aplicação do índice  $\text{CO}_2\text{flux}$  se mostrou eficiente para analisar os níveis de absorção de  $\text{CO}_2$  em áreas que passaram ou estão passando por mudanças em sua paisagem, revelando variações nas taxas de fixação de dióxido de carbono na área estudada. Os valores de  $\text{CO}_2\text{flux}$  obtidos no processamento estão consoante a outros trabalhos já realizados sobre o tema no Brasil, como os de Silva e Farias (2023) e Folharin e Oliveira (2017).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo demonstrou a eficácia do índice  $\text{CO}_2\text{flux}$  para monitorar e analisar as mudanças na cobertura vegetal e suas implicações na absorção de  $\text{CO}_2$  no PA Assurini ao longo dos anos. A construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, juntamente com as alterações na paisagem devido ao desvio do rio Xingu, mostrou um impacto claro na dinâmica do uso da terra, refletido na variação dos índices de vegetação e  $\text{CO}_2\text{flux}$ . Os resultados indicam que, entre 2011 e 2023, houve uma redução significativa nas áreas com cobertura vegetal densa, acompanhada por um aumento em regiões com menor densidade de vegetação, sugerindo uma intensificação na ocupação do solo e no desmatamento.

A aplicação do índice CO<sub>2</sub>flux forneceu uma visão das alterações ambientais no PA Assurini, demonstrando a importância de ferramentas como as de sensoriamento remoto, na avaliação do impacto de grandes empreendimentos sobre o meio ambiente. Esses dados são essenciais para embasar estratégias de mitigação e políticas públicas voltadas para a conservação da Amazônia, reforçando a necessidade de um monitoramento contínuo e de ações que promovam o desenvolvimento sustentável na região.

**Palavras-chave:** Uso da Terra, CO<sub>2</sub>flux e Desmatamento.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Pró-Reitoria de Ensino de Graduação (PROEG) pela concessão da bolsa do Subprograma de Apoio à Infraestrutura de Laboratórios de Ensino de Graduação e da Educação Básica, Técnica e Tecnológica (LABINFRA-PROEG/2023) e ao Laboratório de Geografia Física e Cartografia - LAGEO.

## **REFERÊNCIAS**

**MACAMBIRA, Amanda Rayane Damasceno.** Respostas In Situ de plantas de sub-bosque à concentração elevada de CO<sub>2</sub> em uma floresta de terra firme na Amazônia Central. 2021. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/38628>. Acesso em: 11 jun. 2024.

**BRASIL AMAZÔNIA AGORA.** ENTENDA o papel da Amazônia na regulação do clima do mundo. Disponível em:

<https://brasilamazoniaagora.com.br/2023/papel-amazonia-regulacao-clima/#:~:text=A%20Amaz%C3%B4nia%20%C3%A9%20vital%20na%20captura%20de%20gases,que%20%C3%A9%20essencial%20para%20combater%20o%20aquecimento%20global>.

Acesso em: 10 jun. 2024.

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI.**

Mapeamento: emissões e remoções de gases de efeito estufa são associadas à trajetória da dinâmica de uso e cobertura da terra. Publicado em 12 de abril de 2021. Disponível em:

<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/04/mapeamento-emissoes-e-remocoes-de-gases-de-efeito-estufa-sao-associadas-a-trajetoria-da-dinamica-de-uso-e-cobertura-da-terra>. Acesso em: 11 jun. 2024.

**SILVA, M. A. S.; FARIA, A. L. L.** Índice CO<sub>2</sub> flux para avaliar perdas de serviços ecossistêmicos em mangues impactados por tempestade de granizo no Sudeste do Brasil. *Geosp*, v. 27, n. 3, e-200530, set./dez. 2023. ISSN 2179-0892. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/200530>. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2023.200530.pt>

**ANDERSON, A. B.** Redução de Emissões Oriundas do Desmatamento e Degradação Florestal: Desafios e Oportunidades. WWF Brasil, 04 fev. 2009. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?17540/Reduo-de-Emisses-Oriundas-do-Desmatamento-e-Degradao-Florestas>. Acesso em: 11 jun. 2024.

**COLTRI, P. P.; RAMIREZ, G.M.; WALTER, M.K.C.; JUNIOR, J.Z.; PINTO, H.S.; NASCIMENTO, C.R.; GONÇALVES, R.R.V.** Utilização de índices de Vegetação para Estimativas não Destrutivas da Biomassa, Estoque e Sequestro de Carbono no Cafeeiro Arábica. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 14., 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 121-128. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.15.21/doc/121-128.pdf>.

**RAHMAN, A.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; ROBERTS, D. A.; PRENTISS, D.** Modeling distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery. *Journal of Geophysical Research*, v. 106, p. 579-591, 2001.

**BAPTISTA, G. M. M.** Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: *Anais. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2003, Belo Horizonte. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1037-1044.

**INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA).** Relação de assentamentos criados e reconhecidos pelo Incra. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentosgeral.pdf/view>. Acesso em: 27 jul. 2024.

**FOLHARINI, Saulo Oliveira; OLIVEIRA, Regina Célia de.** Cálculo do Índice Espectral CO<sub>2</sub>FLUX em área de mata atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, v. 1, 2017. DOI: 10.20396/sbgfa.v1i2017.2175. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2175>. Acesso em: 08 jul. 2024.

**GATTI, L.V.; BASSO, L.S.; MILLER, J.B. et al.** Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, v. 595, p. 388–393, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>.

**WWF-BRASIL.** Mesmo com sinais de queda em 2023, desmatamento segue alto na Amazônia; situação é crítica no Cerrado. 2024. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?85600/Mesmo-com-sinais-de-queda-em-2023-desmatamento-segue-alto-na-Amazonia-situacao-e-critica-no-Cerrado>. Acesso em: 11 ago. 2024.