


## Análise da distribuição espacial dos fluxos de carbono no ecossistema da caatinga

Joélia Natália Bezerra da Silva<sup>1</sup>, Josiclêda Domiciano Galvêncio<sup>2</sup>, Jéssica Laís Bezerra da Silva<sup>3</sup>,  
Gabriel Antônio Silva Soares<sup>4</sup>, Jadson Freire da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. \*joelia.silva@ufpe.br

<sup>2</sup>Professora do Programa em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

<sup>3</sup>Graduada em Ciências Biológicas na Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil.

<sup>4</sup>Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

<sup>5</sup>Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 22/01/2024 – Revisado em: 12/03/2024 – Aceito em: 17/03/2024

### RESUMO

Os fluxos de carbono desempenham um papel fundamental na compreensão de como as atividades humanas, como a agricultura, urbanização e mudanças no uso do solo, afetam os ecossistemas e o ciclo do carbono. Neste contexto, os fluxos de carbono são utilizados para avaliar, planejar e gerenciar os recursos ambientais frente às mudanças climáticas globais, sendo importante entender o comportamento da variabilidade da absorção do carbono em áreas semiáridas, a fim de quantificar e prever os efeitos das alterações climáticas. Este estudo tem por objetivo avaliar e modelar a Produção Primária Bruta, a Produtividade Primária Líquida e a Respiração do Ecossistema no Bioma Caatinga frente às variáveis ambientais (vegetação, relevo e solos). Além disso, busca-se investigar o papel das mudanças climáticas nesse contexto, utilizando dados do sensor MODIS e técnicas de sensoriamento remoto para analisar os padrões de fluxo de carbono. Isso contribuirá para uma melhor compreensão da dinâmica dos ecossistemas em regiões semiáridas e para o desenvolvimento de estratégias de conservação e adaptação.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas, MODIS, Sensoriamento remoto, Ecossistemas.

### Spatial distribution analysis of carbon fluxes in the Caatinga ecosystem

### ABSTRACT

Carbon fluxes play a fundamental role in understanding how human activities, such as agriculture, urbanization, and changes in land use, affect ecosystems and the carbon cycle. In this context, carbon fluxes are used to assess, plan, and manage environmental resources in the face of global climate change, making it important to understand the variability of carbon absorption in semiarid areas in order to quantify and predict the effects of climate change. This study aims to evaluate and model Gross Primary Production, Net Primary Productivity, and Ecosystem Respiration in the Caatinga Biome in relation to environmental variables (vegetation, relief, and soils). Additionally, we seek to investigate the role of climate change in this context, using MODIS sensor data and remote sensing techniques to analyze carbon flux patterns. This will contribute to a better understanding of ecosystem dynamics in semiarid regions and the development of conservation and adaptation strategies.

**Keywords:** Climate change, MODIS, Remote sensing, Ecosystems.

### Análisis de la distribución espacial de los flujos de carbono en el ecosistema de la caatinga

### RESUMEN

Los flujos de carbono desempeñan un papel fundamental en la comprensión de cómo las actividades humanas, como la agricultura, urbanización y cambios en el uso del suelo, afectan los ecosistemas y el ciclo del carbono. En este contexto, los flujos de carbono se utilizan para evaluar, planificar y gestionar los recursos ambientales frente a los cambios climáticos globales, siendo importante comprender el comportamiento de la variabilidad en la absorción de carbono en áreas semiáridas, con el fin de cuantificar y prever los efectos de los cambios climáticos. Este estudio tiene como objetivo evaluar y modelar la Producción Primaria Bruta, la Productividad Primaria Neta y la Respiración del Ecosistema en el Bioma Caatinga frente a las variables ambientales (vegetación, relieve y suelos). Además, se busca investigar el papel de los cambios climáticos en este contexto, utilizando datos del sensor MODIS y técnicas de

Silva, J. N. B., Galvêncio, J. D., Silva, J. L.B., Soares, G. A. S., Silva, J.F. (2024). Análise da distribuição espacial dos fluxos de carbono no ecossistema da caatinga. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.5, n.1, p.115-123.



teledetección para analizar los patrones de flujo de carbono. Esto contribuirá a una mejor comprensión de la dinámica de los ecosistemas en regiones semiáridas y al desarrollo de estrategias de conservación y adaptación.

**Palabras clave:** Cambio climático, MODIS, Teledetección, Ecosistemas

## 1. Introdução

Os ecossistemas terrestres desempenham um papel fundamental no ciclo global do carbono, mitigando os efeitos do aquecimento global (Christian et al., 2015). Estudos da troca de energia nos ecossistemas fornecem informações importantes para a compreensão dos fluxos de CO<sub>2</sub> nos sistemas ambientais.

Os padrões fenológicos da vegetação de Caatinga têm um profundo potencial na regulação da produtividade sazonal e anual. As mudanças na fenologia da planta são vistas como ponto principal da mudança climática e refletem a dinâmica da troca de carbono (entre a biosfera e a atmosfera) (Yu et al., 2018). A fenologia da vegetação é vital para entender a tendência nos ciclos de carbono, água e energia, sendo crucial para avaliar as respostas dos ecossistemas (Zheng et al., 2018).

As florestas secas têm menor volume de biomassa do que as florestas úmidas e são amplamente distribuídas nos trópicos. Sua extensa cobertura resulta em significativos compartimentos de Carbono. Percebe-se que a maioria dos estudos sobre os estoques de carbono concentra-se nos trópicos úmidos, sendo que as florestas tropicais sazonalmente secas - SDTFs recebem menos atenção científica (Schulz et al., 2018 ; Santos et al., 2011). Os estudos sobre o armazenamento de carbono nas SDTFs evidenciam que esses ecossistemas semiáridos reagem os principais fatores ambientais sob a influência dos cenários globais, as modificações de uso e ocupação da terra são necessárias para melhor compreensão da dinâmica do comportamento a longo prazo (Corona-Núñez; Campo; Williams, 2018).

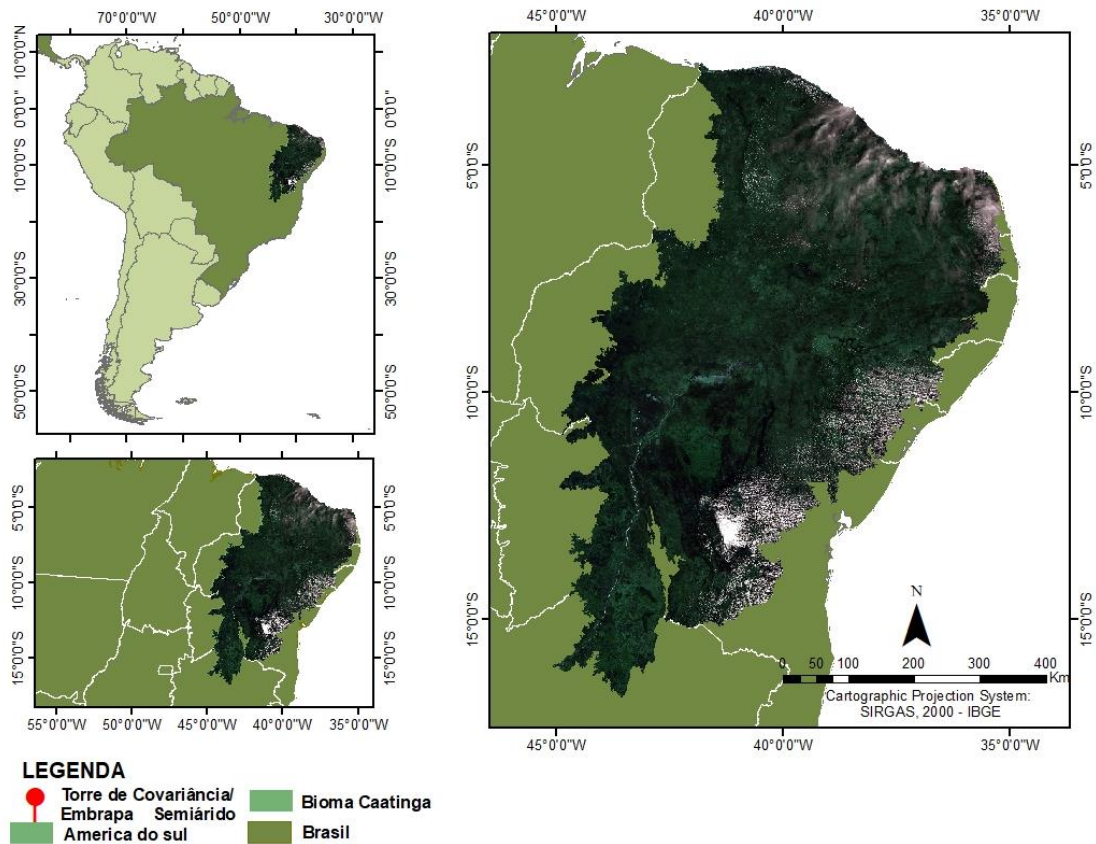
Para melhor modelar variações dos fluxos de carbono utilizando dados de sensoriamento remoto (Ren et al., 2017) e entender a dinâmica da vegetação (Yuhui et al., 2018), os modelos para estimativa de carbono têm recebido enorme atenção na comunidade científica (Costa et al., 2022; Lacerda et al., 2020; Mendes et al., 2021; Silva et al., 2021; Silva et al., 2013). Neste contexto, este estudo tem por objetivo avaliar e modelar a Produção Primária Bruta, a Produtividade Primária Líquida e a Respiração do Ecossistema no Bioma Caatinga frente às variáveis ambientais.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Delimitação e caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende uma área de Floresta Tropical Sazonalmente Seca, a Caatinga no Estado de Pernambuco (Figura 1). O clima da região é do tipo semiárido pela classificação de Köppen que se enquadra como BSWH, as chuvas são concentradas entre os meses de novembro a abril, cuja precipitação pluviométrica média anual é de 578 mm, e a temperatura do ar fica entre 23°C e 27°C, evaporação anual em torno 2000 mm e umidade relativa média anual de aproximadamente 60% (Moura et al., 2007). A vegetação é basicamente composta por Caatinga hiperxerófila com trechos de floresta caducifólia, onde predomina a Caatinga arbustiva-arbórea, entremeada a trechos de Caatinga arbustiva. Nesta região predominam-se solos com baixo desenvolvimento, como os Neossolos, além dos Planossolos, e pequenas manchas de solos desenvolvidos como os Latossolos e Argissolos, entre outros (Souza., et al., 2015).

**Figura 1 - Bioma caatinga no Nordeste brasileiro,  
Figure 1 - Caatinga biome in the Brazilian Northeast**



**Fonte:** Autores (2024)  
**Source:** Authors (2024)

## 2.2 Obtenção e processamento de imagens orbitais

Nesta etapa foram obtidas todas as imagens dos sensores MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Obtivemos os dados de reflectância da superfície terrestre (MOD09GA) com base nas informações de latitude e longitude da torre de fluxo de covariância de vórtices na floresta de Caatinga. Utilizou-se a refletância da superfície do produto (MOD09GA) a partir do MODIS/TERRA satélite do sensor. Os dados foram adquiridos na página eletrônica *earthdata*, referente a quadrícula h14v9, foi adquirida a cena do dia sequencial 241 (29/08/2015) para a análise.

Os valores de pixel de MOD09GA de 8 dias representam os valores de refletância para janelas de composição de 8 dias, selecionando pixels com ângulos de visualização ideais e impactos mínimos de sombra na nuvem. As séries temporais extraídas foram usadas com garantia de Qualidade / Controle de Qualidade (QA / QC), assegurando a qualidade do produto MOD09GA. O MOD09GA é composto por sete bandas com resolução de 1-2 dias, que possuem valores de refletância da superfície com 500 m de resolução espacial no visível ( $\rho_1 = 620\text{--}670\text{ nm}$ ;  $\rho_3 = 459\text{--}479\text{ nm}$ ;  $\rho_4 = 545\text{--}565\text{ nm}$ ), infravermelho próximo ( $\rho_2 = 841\text{--}876\text{ nm}$ ;  $\rho_5 = 1230\text{--}1250\text{ nm}$ ), e infravermelho médio ( $\rho_6 = 1628\text{--}1652\text{ nm}$ ;  $\rho_7 = 2105\text{--}2155\text{ nm}$ ).

### 2.3 Análise espacial e temporal dos fluxos de carbono

Nesta etapa, os fluxos de carbono foram relacionados aos tipos de vegetação, relevo, solos e foram utilizadas bases digitais para obtenção dos tipos de vegetação, relevo e solos:

**Solos:** Foram adquiridos os dados de solos referentes ao bioma Caatinga na base de dados do IBGE, disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.html>

**Vegetação e Relevo:** O BDIA (Sistema de Informações Ambientais Brasileiras) é um sistema de informações ambientais disponível para consulta pública na web, que compila uma coleção de bases temáticas dos mapeamentos de recursos naturais do Brasil, abrangendo os temas Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Vegetação. Esses mapeamentos foram produzidos pelo IBGE ao longo das duas últimas décadas. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>

Foram utilizados os modelos Silva (2022) para estimativa dos fluxos de carbono na vegetação de Caatinga em  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  Representados pelas equações 1, 2 e 3 respectivamente:

$$\text{Reco} = 1,336 + (-30,631) \times \rho_{550} + 13,913 \times \rho_{775} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que,  $\rho_{550}$  e  $\rho_{775}$  são as reflectâncias nas faixas espectrais 550 nm e 775 nm, respectivamente.

$$\text{NEE} = 1,611 + 13,180 \times \rho_{470} + (-5,913) \times \rho_{775} + 0,306 \times \text{Reco} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que,  $\rho_{470}$  e  $\rho_{775}$  são as reflectâncias nas faixas espectrais de 470 nm e 775 nm, respectivamente

$$\text{GPP} = 0,284 + 1,947 \times \rho_{775} + (-5,598) \times \rho_{470} + 0,551 \times \text{Reco} + (-0,323) \times \text{NEE} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que, Reco (unidade) é a respiração do ecossistema,  $\rho_{470}$ ,  $\rho_{775}$  são as reflectâncias no comprimento de onda de 470 nm e 775 nm, respectivamente

### 3. Resultados e Discussão

A dinâmica global do ciclo do carbono se faz a partir de processos químicos e bioquímicos relacionados aos tecidos vegetais e a matéria orgânica nos solos, esses processos se relacionam aos fatores climáticos e aos tipos de relevo. Neste estudo foi avaliado a estimativa para a variação diária dos fluxos de carbono no bioma Caatinga para o dia 29/08/2015 (Figura 2) influenciada pela sazonalidade, vegetação, relevo, solos.

Áreas de savana estépica ocorrem em quase todo o território do bioma Caatinga, essa vegetação compreende áreas de depressões, planaltos e patamares, a predominância de Neossolos, Espodossolos, Planossolos, Latossolos e Argissolos (Figura 3 (A), (B), (C)). A savana estépica é estruturada em nítidos estratos arbustivo-arbóreo superior, esparso, de relevante importância fitofisionômica (IBGE, 2010). Em condições normais em que predominância da caatinga hipoxerófila, classificada como Savana estépica, presente em quase toda área de estudo, foi possível encontrar trechos de floresta perenifólia, subcaducifólia e caducifólia este tipo de vegetação foi encontrada nas regiões de depressão, planaltos, patamares e tabuleiros.

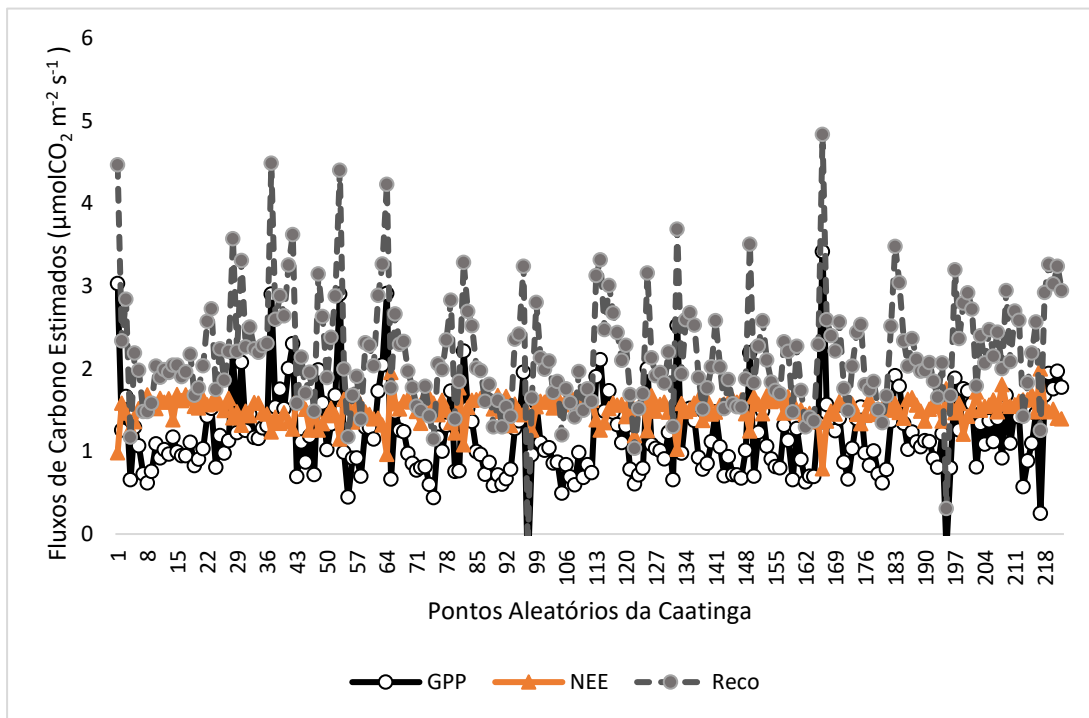
As características dos solos e relevo influenciaram no estoque de  $\text{CO}_2$ , juntamente as características

fisiográficas dessa área. Nas áreas Savana Estépica em áreas de Depressão foram encontrados valores médios de NEE  $1,51 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , GPP  $0,58 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  Reco  $1,29 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Pontos 75, 80, e 89). Nas áreas de planaltos, os fluxos, obtiveram valores médios de GPP  $1,36 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , Reco  $2,48 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e NEE  $1,56 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Pontos 113,137,170 e 187). Em áreas de serras e chapadas foram encontradas porções de floresta estacional semidecidual e decidual e ombrófila aberta, os solos predominantes foram Luvisolos, Argissolos e Vertissolos. Foram encontrados valores médios de para as chapadas GPP  $1,11 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , Reco  $2,14 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e NEE  $1,54 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Pontos 21, 35, 84 e 124), para as serras os valores médios foram GPP  $1,14 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , Reco  $2,48 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e NEE  $1,56 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Pontos 5, 25, 33 e 57).

Segundo Salcedo e Sampaio (2008) os Vertissolos apresentam os maiores teores de Carbono Orgânicos Totais nos solos e cobrem aproximadamente 5% da região semiárida, já os Luvisolos apresentam uma abrangência maior com aproximadamente 32% total da área, e os Argissolos ocupam 36% de toda região e possuem teores Carbono Orgânicos Totais de aproximadamente 8,9%. No contexto do ambiente semiárido, ocorrem áreas pertencentes à Chapada do Araripe, chapadas do Sudeste do Piauí e Chapada Diamantina, os solos predominantes são Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarêncios. Nas encostas das chapadas são comuns Neossolos Litólicos e Argissolos de acordo com Salcedo e Sampaio (2008) os Neossolos são considerados com baixos teores de Carbono Orgânicos Totais.

**Figura 2** -Variação espacial dos fluxos de carbono com o uso do modelo calibrado para a área de caatinga preservada

**Figure 2** - Spatial variation of carbon fluxes using the calibrated model for the preserved caatinga area.



Fonte: Autores (2024)

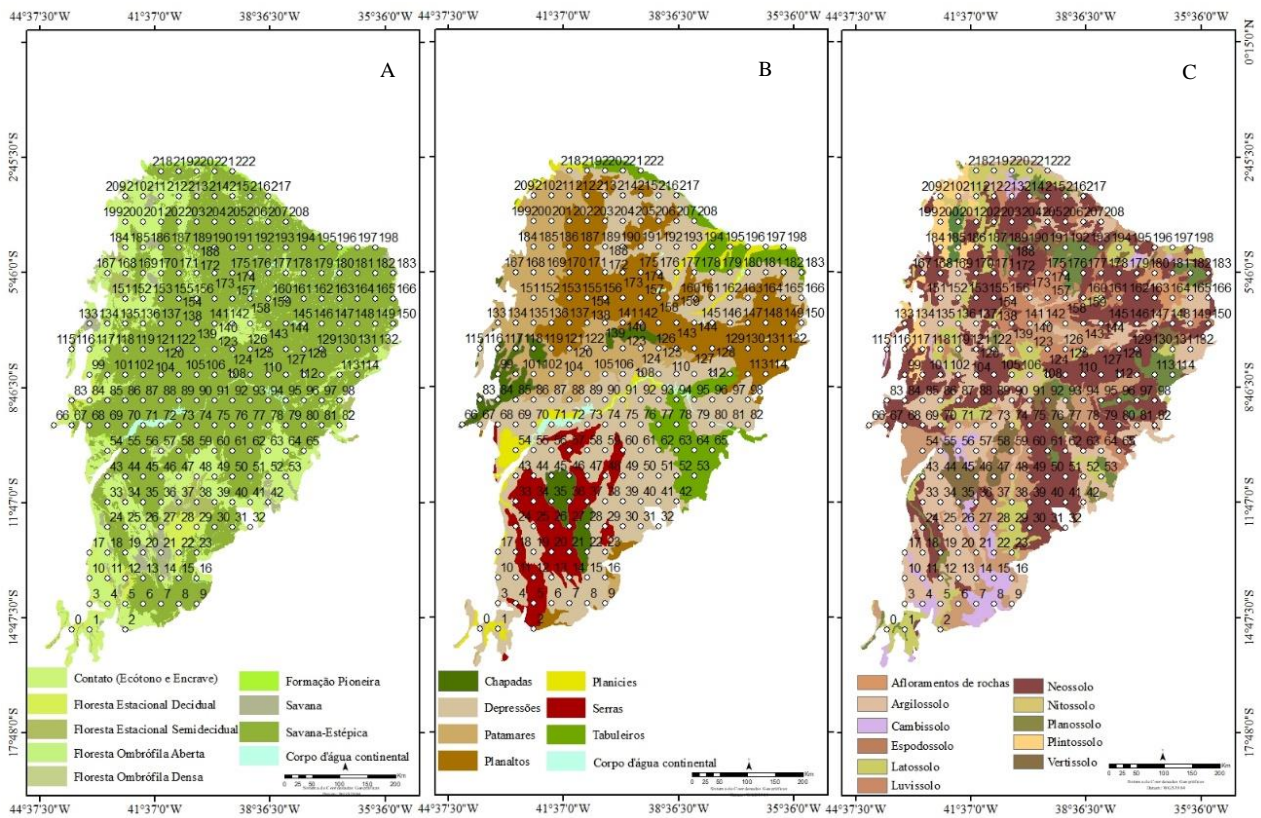
Source: Authors (2024)



A vegetação Estacional Decidual e Semi-decidual foram encontradas em poucas regiões sendo, contudo, é possível verificar diferenças na resposta dos fluxos de carbono, de acordo com a mudança das Caatingas. Podemos observar picos de NEE  $0,78 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , GPP  $3,41 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  Reco  $4,84 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  no ponto 166, picos como os pontos 1, 53 e 64 e 166. As florestas estacionais semidecíduais, estão a 400–600 m de altitude, são áreas sedimentares elevadas, com topos apresentado relevos predominantemente planos. Em áreas altitudes elevadas, formam-se microclimas diferenciados do entorno, a temperatura é mais amena e, por efeito orográfico, a pluviosidade é bastante superior à das áreas circunvizinhas (Pôrto; Cabral; Tabarelli Biodiversidade, [s. d.]).

**Figura 3 -** Mapa de vegetação (A), Mapa de relevo (B), Mapa de solos (C) nos domínios da Caatinga

**Figure 3 -** Vegetation Map (A), Relief Map (B), Soil Map (C) in the Caatinga domains.



**Fonte:** Autores (2024)  
**Source:** Authors (2024)

A topografia da área está condicionada ao aumento ou diminuição dos estoques de carbono, as características dos solos e relevo influenciaram nos fluxos de carbono, assim como as classes de solo (IBGE, 2010). Neste estudo foi observado que os maiores valores de GPP foram encontrados em regiões de maior altitude, no estudo de Lacerda et al., (2020) os autores analisaram os resultados obtidos na Unidade de Conservação Reserva de Vida Silvestre Tatu-Bola (REVIS), considerando áreas com altitudes distintas,

durante a análise, foi evidente a influência dos fatores meteorológicos nas médias de GPP, os autores destacaram que o relevo desempenhou um papel significativo na GPP, especialmente durante o período seco com padrão pluviométrico semelhante. Nesse contexto, observaram variações nas taxas de GPP entre as áreas de maior e menor altitude na região.

#### 4. Conclusão

As variáveis climáticas foram condizentes ao padrão sazonal da região e as estimativas dos fluxos de carbono. As estimativas para a variação diária da GPP, Reco e NEE nos domínios das Caatingas nas áreas de serras e chapadas com fragmentos de floresta estacional semidecidual, decidual e ombrófila aberta, com predominância de Luvisolos, Argissolos e Vertissolos.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco FACEPE pelo auxílio financeiro de processo nº: IBPG-0030-9.25/18. À Embrapa Semiárido pela disponibilização dos dados de campo. Ao laboratório de sensoriamento remoto e geoprocessamento - SERGEO, e a Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

#### 6. Referências

- Christian, B., Joshi, N., Saini, M., Mehta, N., Goroshi, S., Nidamanuri, R. R., Thenkabail, P., Desai, A. R., & Krishnayya, N. S. R. (2015). Seasonal variations in phenology and productivity of a tropical dry deciduous forest from MODIS and Hyperion. **Agricultural and Forest Meteorology**, 214–215, 91–105. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2015.08.246>
- Corona-Núñez, R. O., Campo, J., & Williams, M. (2018). Aboveground carbon storage in tropical dry forest plots in Oaxaca, Mexico. **Forest Ecology and Management**, 409, 202–214. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2017.11.014>
- Costa, G. B., Santos E Silva, C. M., Mendes, K. R., Dos Santos, J. G. M., Neves, T. T. A. T., Silva, A. S., Rodrigues, T. R., Silva, J. B., Dalmagro, H. J., Mutti, P. R., Nunes, H. G. G. C., Peres, L. V., Santana, R. A. S., Viana, L. B., Almeida, G. V., Bezerra, B. G., Marques, T. V., Ferreira, R. R., Oliveira, C. P., ... Andrade, M. U. G. (2022). WUE and CO2 Estimations by Eddy Covariance and Remote Sensing in Different Tropical Biomes. **Remote Sensing 2022**, Vol. 14, Page 3241, 14(14), 3241. <https://doi.org/10.3390/RS14143241>
- IBGE. (2010). **De Geografia E** (Vol. 55, Issue 11). <http://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/readout.asp>
- Lacerda, A. C., Galvncio, J. D., Morais, Y. C. B., Pimentel, R. M. de M., & de Moura, M. S. B. (2020). Edapho-topo-climatic influence on gross primary production in semi-arid. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(6), 3119–3135. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p3119-3135>

- Mendes, K. R., Campos, S., Mutti, P. R., Ferreira, R. R., Ramos, T. M., Marques, T. V., Reis, J. S. dos, Vieira, M. M. de L., Silva, A. C. N., Marques, A. M. S., Silva, D. T. C. da, Silva, D. F. da, Oliveira, C. P., Gonçalves, W. A., Costa, G. B., Pompelli, M. F., Marengo, R. A., Antonino, A. C. D., Menezes, R. S. C., ... Silva, C. M. S. e. (2021). Assessment of SITE for CO<sub>2</sub> and Energy Fluxes Simulations in a Seasonally Dry Tropical Forest (Caatinga Ecosystem). **Forests** 2021, Vol. 12, Page 86, 12(1), 86. <https://doi.org/10.3390/F12010086>
- Moura, m. s. b. de, galvinctio, j. d., brito, l. t. de l., souza, l. s. b. de, sá, i. i. s., & SILVA, T. G. F. da. (2007). **Clima e água de chuva no Semi-Árido** (2007. BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido (ed.)). <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159649/1/OPB1515.pdf>
- N. B. Silva, J., Domiciano Galvinctio, J., de Queiroga Miranda, R., & Soelma Besera de Moura, M. (2021). Modelos da Produtividade Primária Bruta em área de floresta tropical em sazonalmente seca, usando dados reflectância da vegetação de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física V, 14**, 3775–3784. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>
- Pôrto, K. C., Cabral, J. J. P., & Tabarelli Biodiversidade, M. (n.d.). **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba.**
- Santos, J. C., Leal, I. R., Almeida-Cortez, J. S., Fernandes, G. W., & Tabarelli, M. (2011). Caatinga: The Scientific Negligence Experienced by a Dry Tropical Forest. **Tropical Conservation Science**, 4(3), 276–286. <https://doi.org/10.1177/194008291100400306>
- Schulz, K., Guschal, M., Kowarik, I., Almeida-Cortez, J. S., Sampaio, E. V. S. B., & Cierjacks, A. (2018). Grazing, forest density, and carbon storage: towards a more sustainable land use in Caatinga dry forests of Brazil. **Regional Environmental Change**, 18(7), 1969–1981. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1303-0>
- Silva, B. B. da, Galvinctio, J. D., Montenegro, S. M. G. L., Machado, C. C. C., Oliveira, L. M. M. de, & Moura, M. S. B. de. (2013). Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado São Gonçalo - PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 28(1), 57–64. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000100006>
- Yu, Z., Lu, C., Cao, P., Tian, H., Hessel, A., & Pederson, N. (2018). Earlier leaf-flushing suppressed ecosystem productivity by draining soil water in the Mongolian Plateau. **Agricultural and Forest Meteorology**, 250–251, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2017.11.035>
- Yuhui, W., Jiquan, C., Guangsheng, Z., Changliang, S., Jun, C., Yu, W., & Jianmin, S. (2018). Predominance of precipitation event controls ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in an Inner Mongolian desert grassland, China. **Journal of Cleaner Production**, 197, 781–793. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.107>



Zheng, C., Tang, X., Gu, Q., Wang, T., Wei, J., Song, L., & Ma, M. (2018). Climatic anomaly and its impact on vegetation phenology, carbon sequestration and water-use efficiency at a humid temperate forest. **Journal of Hydrology**, 565, 150–159. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2018.08.012>