

ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM VEREDAS POR SENSORES ORBITAIS

Data de submissão: 13/02/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Josiane Maria da Silva

Mestranda em Produção Vegetal, UFVJM,
Unaí-MG

Ingrid Horák Terra

Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

Lucas Santos Santana

Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

Lucas G. M. dos Santos

Mestrando em Produção Vegetal, UFVJM,
Unaí-MG

Fabricio da Silva Terra

Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

André Medeiros de Andrade

Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

RESUMO: O objetivo desse trabalho consiste no mapeamento de estoque de carbono por tecnologias de sensoriamento remoto em veredas no município de Unaí – MG a fim de evidenciar o potencial desses ecossistemas no sequestro de carbono para atenuar o aquecimento global e incentivar políticas de preservação ambiental. Foram utilizadas imagens do município de Unaí no mês de maio de 2024 obtidas pelo satélite Ladsat-8 e 9 e foram processadas

no software QGis 3.34.6 para extração dos índices: NDVI, PRI, sPRI e Co2Flux e classificação do uso de solo do município. As imagens do índice CO2flux foram recortadas com as delimitações das áreas de veredas e reclassificadas nas classes 1 (baixo), 2 (médio) e 3 (alto) que representam o potencial da área em sequestrar carbono. As veredas responderam de forma positiva quanto ao sequestro de carbono, visto que 82,83% da sua área está dentro da classe 3 denominada classe com alto nível na capacidade da área em estocagem de carbono. A formação de índices vegetativos em imagens Landsat foi suficiente para o mapeamento do potencial de sequestro de carbono em Veredas no município de Unaí -MG.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto, Veredas, Carbono.

CARBON STOCK ESTIMATION IN SAVANNA PALM SWAMP USING ORBITAL SENSORS

ABSTRACT: The objective of this work is to map the carbon stock using remote sensing technologies in savanna palm swamp in the municipality of Unaí – MG, in order to highlight the potential of these ecosystems

in carbon sequestration to mitigate global warming and incentives for environmental preservation policies. Images of the municipality of Unaí in the month of May 2024 obtained by the Landsat-8 and 9 satellite were used and were processed in the QGIS 3.34.6 software to extract the indices: NDVI, PRI, sPRI and Co2Flux and classify the municipality's land use. The CO2flux index images were recorded with the delimitations of the footpath areas and reclassified into classes 1 (low), 2 (medium) and 3 (high) which represent the area's potential to sequester carbon. The savanna palm swamps responded positively regarding carbon sequestration, since 82.83% of their area is within class 3, indicating a class with a high level of the area's carbon storage capacity. The formation of vegetative indices in Landsat images was sufficient to map the carbon sequestration potential in savanna palm swamps in the municipality of Unaí -MG.

KEYWORDS: Remote sensing, Savanna palm swamps, Carbon.

1 | INTRODUÇÃO

O aquecimento global tem impacto significativo nas mudanças climáticas que vêm proporcionando uma série de eventos catastróficos em escala mundial. O aumento da temperatura global, gerado pela maior retenção de calor pela atmosfera, causa uma série de desequilíbrios ambientais, como eventos climáticos extremos, mudanças nos padrões de precipitação e perda da biodiversidade (Moreira et al., 2022). Isso ocorre devido ao aumento na concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera e ao desmatamento desenfreado para ocupação de atividades agropecuárias (Shukla et al., 2019).

O impacto do aquecimento global pode ser atenuado por estratégias elaboradas a fim de reter esses gases formando estoques de carbono na superfície. Nesse sentido, destacam-se os sumidouros naturais de carbono, como a dinâmica da matéria orgânica do solo e a biomassa florestal. Responsáveis pela retenção de gases de efeito estufa atenuando a concentração de CO₂ atmosférico (Inácio et al., 2022; Gong et al., 2020).

A remoção de CO₂ da atmosfera é realizado pela fotossíntese das plantas e armazenado como carbono na biomassa. Dessa forma, uso de culturas ou preservação de ambientes que armazenem ou sequestram esse carbono da atmosfera tem se tornado necessário para minimizar as emissões expressivas desses gases poluentes na atmosfera (Fao, 2016).

Nesse contexto, os ecossistemas de veredas (savanna palm swamp) se destacam pelo predomínio de solos hidromórficos e orgânicos que atuam na drenagem do carbono atmosférico consideradas como reguladoras das mudanças climáticas (Porto et al., 2018; Malerba et al., 2023). As áreas de veredas são consideradas áreas permanentes e prioritárias para proteção ambiental. Funcionam como linha de drenagem do bioma Cerrado e desempenham serviços ecossistêmicos extremamente importantes como nascentes de água, recarga de águas subterrâneas, armazenamento de carbono e habitat da vida selvagem (Hu et al., 2017).

No entanto, ações antrópicas como o desmatamento para expansão de novas áreas, captação de água para irrigação de cultivos e lixiviação e escoamento de agroquímicos tem impactado esses ambientes (Ribeiro et al., 2019). Vale ressaltar que a região do Noroeste de Minas Gerais é um dos polos estaduais do agronegócio, com destaque para o município de Unaí com a maior produção de grãos do estado de Minas Gerais (Oliveira et al., 2022). Nos últimos 50 anos, as veredas foram alteradas e diminuíram drasticamente à medida que a cobertura do solo foi modificada (Guo et al., 2017; Menezes et al., 2021).

Dessa forma, alterações nesses ecossistemas podem ocorrer devido a expansão agrícola da região acarretando a perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos desses ambientes consideradas tão importantes para estoque e fluxo de carbono (Ribeiro et al., 2019). Porém, estudos sobre quantificação de carbono nesses ambientes ainda são incipientes. Nesse sentido, a aplicação de tecnologias como o sensoriamento remoto podem ser eficientes na estimativa do potencial de estoque de carbono (Van Wesemael et al., 2023).

O sensoriamento remoto aliado a técnicas de geoprocessamento permite uma análise espaço temporal da variabilidade espacial da floresta por meio de imagens obtidas pelos sensores orbitais (Manzato et al., 2018). As imagens obtidas dos sensores multiespectrais são processadas e interpretadas por meio de índices de vegetação que permitem estimar em uma escala regional o estoque e fluxo de carbono. Além de quantificar com precisão o carbono estocado de forma rápida e menos onerosa considerada uma solução promissora para quantificação de biomassa e estoque de carbono (Pechanec et al., 2017; Hu et al., 2020).

Os índices espectrais como NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Zhang et al., 2024) e o PRI (Photochemical Reflectance Index) (Chen et al., 2019), cooperam para a obtenção de outro índice, denominado CO₂ flux, que quantifica o sequestro de carbono, possibilitando o mapeamento da vegetação fotossinteticamente ativa em determinada área de estudo (Baptista et al., 2003; Rahman, et al., 2000). Ressalta-se que o CO₂ flux é proporcional ao fluxo de carbono e, dependente da integração entre o NDVI com o PRI, resultando nesse novo índice (Silva et al., 2021).

Considerando a importância atual do tema das mudanças climáticas globais e a relação com o sequestro de carbono o objetivo desse trabalho consiste no mapeamento de estoque de carbono por tecnologias de sensoriamento remoto em veredas no município de Unaí – MG a fim de evidenciar o potencial desses ecossistemas no sequestro de carbono para atenuar o aquecimento global e incentivar políticas de preservação ambiental.

2 | METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Unaí no noroeste de Minas Gerais (Figura 01) entre as coordenadas geográficas $16^{\circ} 21' 6''$ S e $46^{\circ} 54' 43''$ O no fuso 23S. De acordo com a classificação climática de Köppen, adaptada por Alvares et al., (2013) o clima é do tipo Aw, com temperatura média anual de 24° C sendo a média anual pluviométrica de 1400 mm.

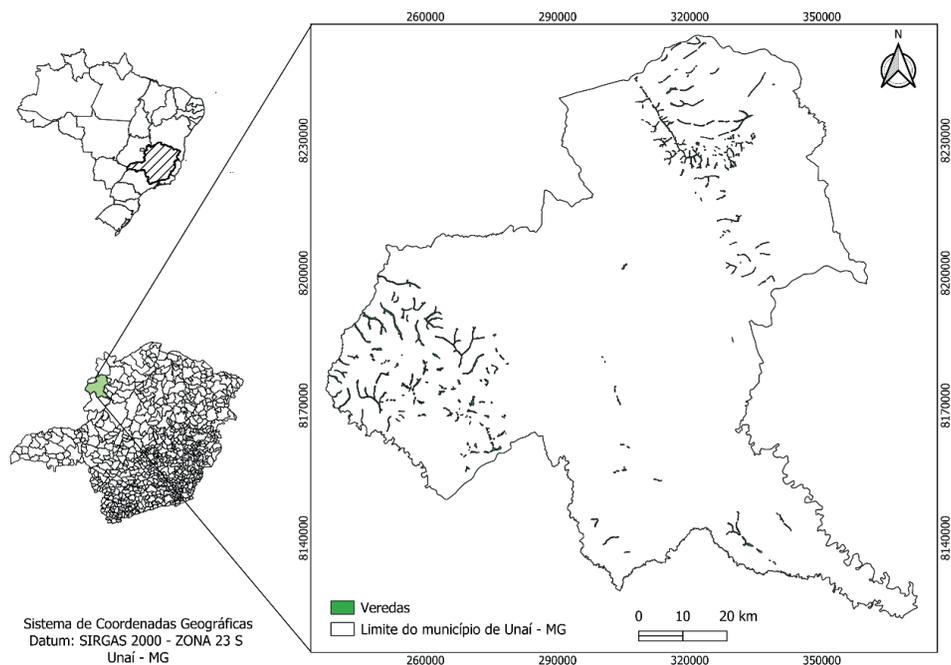


Figura 1. Mapa de localização do município de Unaí – MG e as respectivas áreas de veredas.

O município de Unaí possui vegetação do Bioma Cerrado com a presença das seguintes fitofisionomias: Cerrado sentido restrito, Cerradão, Veredas, Mata Ciliar, Campo sujo e limpo (Mourão et al., 2001). Ocorrem extensas áreas de pastagem e de plantio provenientes da expansão da fronteira agrícola e do desenvolvimento da região. No mapa da figura 2 são apresentadas as classes de uso do solo do município.

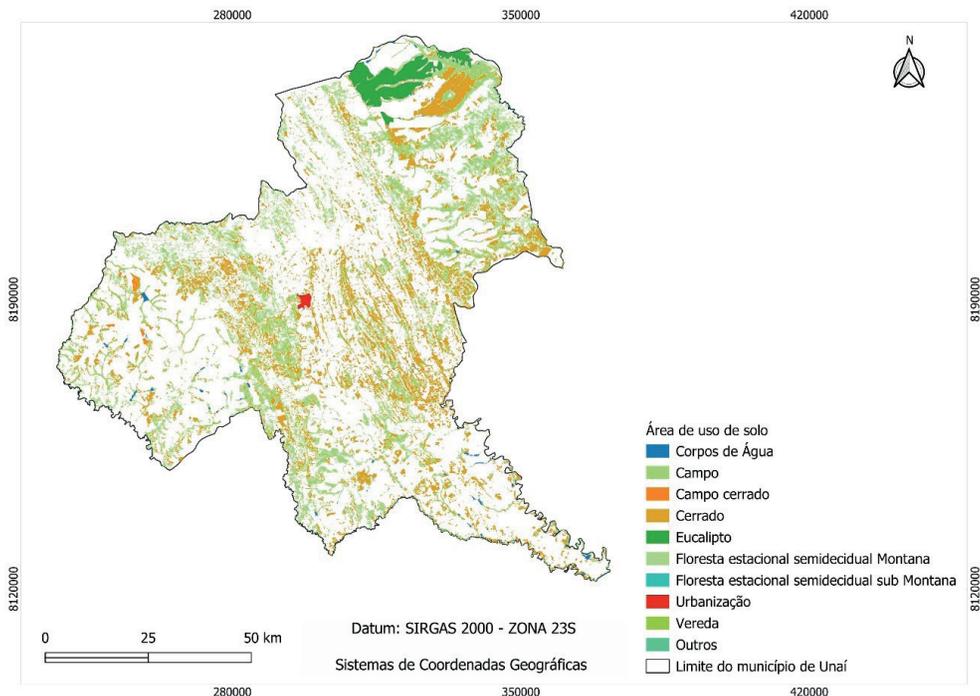


Figura 2. Mapa de uso do solo no município de Unaí - MG

Apesar da expansão agrícola na região ser predominante, o município possui uma vasta extensão territorial de vegetação, com áreas de cerrado, campo, florestas e veredas. Na tabela 1, são apresentadas as classes de uso do solo e suas respectivas áreas de cobertura vegetal e o percentual correspondente a cada classe.

Descrição	Área (ha)	%
Cerrado	120.212,55	14,20
Campo	80.160,23	9,47
Floresta estacional semidecidual Montana	29.512,00	3,49
Eucalipto	15.150,16	1,79
Vereda	8.156,49	0,96
Campo cerrado	4.177,73	0,49
Água	2.468,85	0,29
Urbanização	869,41	0,10
Floresta estacional semidecidual sub Montana	22,79	0,01
Total	260.73,21	30,80
Área de Unaí - MG	846.379,28	
Área coberta por vegetação	257.391,95	
% Área coberta por vegetação	30,41%	

Tabela 1. Descrição do uso de solo e área coberta por vegetação no município de Unaí - MG

A área coberta por vegetação no município de Unaí é de 257.391,95 hectares cujo percentual corresponde a 30,41%. Os ecossistemas de veredas representam cerca de 8.156,49 hectares correspondente a 0,96% de toda vegetação do município de Unaí. Esses ecossistemas se destacam pelo predomínio de solos hidromórficos e orgânicos que atuam na drenagem do carbono atmosférico.

2.2 Aquisição de dados

As imagens foram obtidas em um conjunto de cenas referentes ao mês de maio de 2024 do satélite Landsat-8 e 9 (Tabela 2) por download no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2024). Foram utilizadas as bandas 2, 3 e 4, referentes a faixa do visível (RGB), e 8, correspondente a banda do NIR (Near Infrared), com resolução espacial de 30 metros. A seleção das imagens foi realizada com base na inexistência ou baixa cobertura de nuvens dentro do período de análise. Na tabela 2 são demonstradas as características das imagens orbitais obtidas pelo satélite Landsat no mês de maio de 2024.

Satélite	Orbita/ponto	Resolução espectral	Data de aquisição das imagens
Landsat 9	221071	9	30/04/2024
Landsat 8	221072	9	01/05/2024
Landsat 8	221071	9	01/05/2024

Tabela 2. Caracterização das imagens orbitais do satélite Landsat.

2.3 Processamento de dados

Após a obtenção das imagens, foi necessário realizar a correção atmosférica, que visa minimizar os efeitos atmosféricos na radiância de uma cena, já que os fenômenos de espalhamento, absorção e refração afetam a radiância refletida captada pelo sensor. Nessa etapa, as imagens foram submetidas no software Qgis 3.34.6 no qual foi realizado esse ajuste.

As cenas passaram pelo seguinte processo: Reprojeção das cenas para o Hemisfério Sul, pois não estão georreferenciadas e recorte das cenas para a área de estudo, a fim de facilitar o processamento.

As imagens corrigidas foram processadas no software QGis 3.34.6 para quantificação das áreas de carbono. Após processamento das imagens e preparação dos ortomosaicos foram extraídas os Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), PRI (Photochemical Reflectance Index) e CO2 Flux (Forest Carbon Sequestration Index) utilizando calculadora raster.

O cálculo do NDVI baseia-se no método da razão entre as bandas monocromáticas. No satélite Landsat estas bandas correspondem ao comprimento de onda 0,85 - 0,88 μm (NIR) e 0,64 - 0,67 μm (RED) conforme apresentados na Equação 1 (Huete, 2022):

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

Para o cálculo do PRI (Photochemical Reflectance Index) que identifica a eficiência da fotossíntese, é realizada a relação de bandas correspondentes ao comprimento de onda 0,450 - 0,51 μm (BLUE) e 0,53 - 0,59 μm (GREEN), ou seja, a absorção da banda do azul, em relação ao pico ocorrido na banda de reflexão do verde (Oliveira et al., 2017), variando expresso pela seguinte equação:

$$PRI = \frac{B - G}{B + G}$$

Onde:

PRI = Photochemical Reflectance Index

B = A reflectância da faixa do azul;

G = A reflectância da faixa do verde;

Após o cálculo do índice PRI, esse índice foi reescalado para valores positivos, resultando no sPRI (Photochemical Reflectance Index) seguindo a metodologia proposta por Rahman et al. (2000).

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

Onde:

sPRI = Photochemical Reflectance Index reescalado para valores positivos

PRI = Photochemical Reflectance Index

Os índices NDVI e PRI foram integrados, segundo a metodologia de Rahman et al., (2000), para gerar o índice CO₂ Flux (Forest Carbon Sequestration Index) que mensura a eficiência do sequestro de carbono por parte da vegetação expresso pela seguinte equação:

$$CO_2flux = sPRI * NDVI$$

Onde:

CO₂ flux= Índice de Sequestro de Carbono

sPRI = Photochemical Reflectance Index reescalado para valores positivos;

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index;

As equações foram executadas usando uma rotina de processamento no software QGIS gerando os índices. Em seguida, as imagens do índice CO₂flux foram recortadas com as delimitações das áreas de veredas que foram obtidas por meio da classificação de uso do solo. Para analisar a capacidade da vegetação em sequestrar carbono foi realizada a reclassificação da imagem gerando um intervalo de três classes que foram submetidos a reclassificação por tabela por meio análise de dados raster. Assim, a cena foi subdividida em três classes a partir do intervalo de mínimo e máximo, sendo: nível 1 baixo; nível 2

médio e nível 3 alto sendo elas: Classe 1 (0 a 0,100), classe 2 (1,001 a 2,000), classe 3 (2,0001 a 3,0000).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices espectrais de vegetação foram analisados com foco na obtenção do indicador de fluxo de carbono. Essa relação existe pois os valores de índice de vegetação NDVI demonstram variações entre 0 e 1 como escala de vigor vegetativo combinado com o cálculo de índice espectral sPRI. Coltri et al., (2009) afirmam que o NDVI é considerado um bom estimador de biomassa e estoque de carbono das plantas, além de classificar de maneira mais eficiente a área, principalmente onde a vegetação não é tão densa.

Os valores de CO₂flux são demonstrados de forma espacial na Figura 3, divididos em três classes a partir do intervalo de mínimo e máximo, sendo elas: Classe 1 (0 a 0,100), classe 2 (1,001 a 2,000) e classe 3 (2,0001 a 3,0000). No mapa da figura 3 são demonstradas duas escalas de cores, CO₂flux que representa a classificação primitiva do índice e a escala do raster classificado ao qual representa os valores classificados em 3 classes.

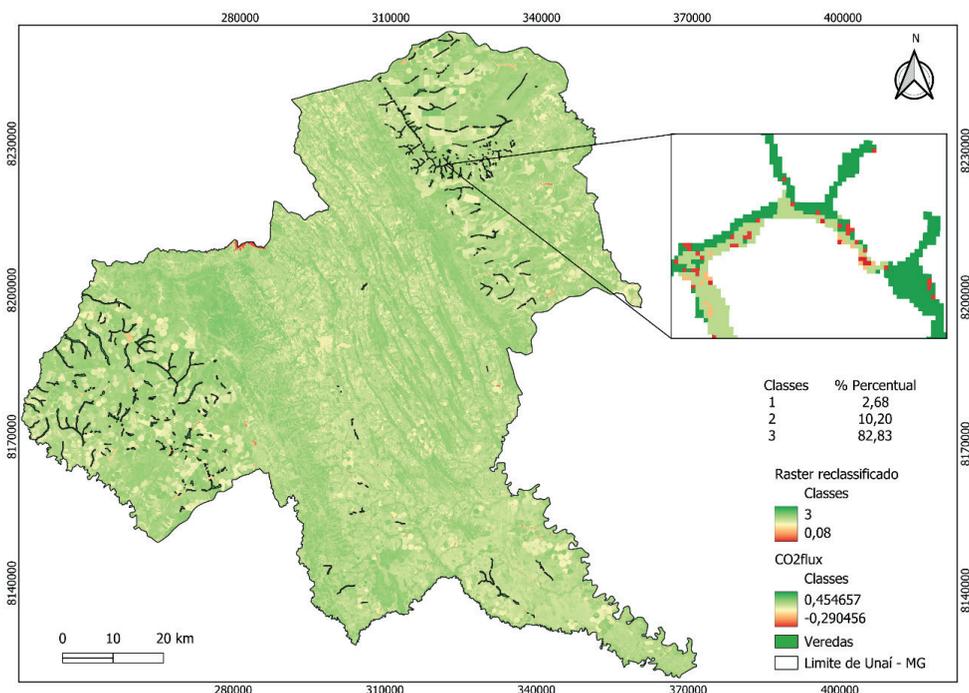


Figura 3. Índice CO₂flux no município de Unai – MG nas áreas de veredas.

A inserção do mapa de CO₂flux torna-se possível analisar a intensidade do fluxo de CO₂ para área de estudo. A partir destes dados verifica-se que os valores menores que 0,08 caracterizam a região com menor intensidade de fluxo de CO₂, demonstrando

baixa capacidade em sequestrar carbono. Conforme calculado, para a região com maior intensidade de fluxo de CO₂ encontram-se as áreas com valores próximos a 3. Em complemento para melhor identificação da capacidade da vegetação em sequestrar carbono, se fez necessário separar a área em classes, a classificação representa o potencial da área em sequestrar carbono na região de Unai em diferentes níveis. Dessa forma, as áreas de veredas, do município de Unai, foram classificadas sendo apresentadas na tabela 3.

Classes	Pixel	Percentual (%)	Área (m ²)	Área (ha)
1	2428	2,68	2185200	218,52
2	9236	10,2	8312400	831,24
3	75004	82,83	67503600	6750,36

Tabela 3. Classificação da capacidade de sequestro de carbono, no município de Unai-MG, nos ecossistemas de veredas e suas respectivas áreas.

Os valores apresentados na tabela 3, demonstram que as veredas responderam de forma positiva quanto ao sequestro de carbono, visto que 82,83% da sua área está dentro da classe 3. Denominada classe com alto nível na capacidade da área em estocagem de carbono, apresentando área de 6.750,36 ha. O alto índice de estocagem de carbono em veredas localizadas entre norte e noroeste de Minas também foram evidenciadas nas pesquisas de Silva et al., (2022). Os autores avaliaram a capacidade do sequestro de carbono em diferentes usos e coberturas do solo em áreas do bioma Cerrado, norte de Minas Gerais, evidenciando que as áreas de Veredas se destacaram por apresentar melhor BLM (balanço hídrico). Além de apresentar baixa variabilidade dos valores de carbono fixado do verão para o inverno.

Nos ecossistemas de veredas outro ponto a ser destacado é a disponibilidade hídrica, essa característica favorece a atividade fotossintética, elevando os padrões de evapotranspiração e conseqüentemente maior absorção de carbono atmosférico. A caracterização de veredas, assim como foi realizada neste estudo parte do pressuposto que nessas regiões os valores mínimos aceitados para melhores respostas espectrais sejam atendidos. Os intervalos de máximo e mínimo do fluxo de carbono foram comprovados nas pesquisas desenvolvidas por Batista et al., (2004) o qual conclui em seu estudo uma alta relação entre atividade fotossintética eficácia no processo de sequestro de carbono. Evidenciando a eficiência de monitoramento refletância na faixa do espectro eletromagnético do azul e vermelho são maiores.

Os valores de alta capacidade de retenção de carbono apresentado no mapeamento por meio de índices vegetativos em Unai pode contribuir para o entendimento de fatores ligados a preservação desses ambientes. Podendo ser correlacionada com balanço hídrico e retenção de água no solo em ambientes de veredas. O monitoramento por meio de

índices espectrais é importante, mas ao considerar o ambiente monitorado alguns pontos devem ser destacados, como os solos presentes nas regiões de Veredas. Esses solos possuem aspecto 'Glei'" (Silva e Rosa, 2019), nesses solos a drenagem é dificultada devido à estrutura pastosa, o que infere ambientes encharcados, com baixa atividade anaeróbica. Elevando a matéria orgânica, em associação a entrada de detritos vegetais, mantendo elevados estoques de carbono. Essa argumentação corrobora com resultados apresentados em pesquisas de (Pereira et al., 2018; Oliveira et al., 2019) aos quais concluíram o elevado estoque de carbono nos solos dos ambientes de veredas.

Os dados apresentados na tabela 3, também evidenciam a precisão de classificação do uso do solo, informando que as veredas estão presentes em 8.156,49 hectares. Denotando atenção especial a esses ambientes, principalmente pela região noroeste apresentar forte pressão agropecuária em áreas de preservação permanente. Os estudos de Wantzen et al., (2012) determinaram os estoques de carbono do solo em ecossistemas de vales de riachos na agropaisagem do Cerrado brasileiro no qual verificaram que as áreas úmidas ripárias (florestas ripárias lenhosas ou predominantemente cobertas de ervas Vereda) do Cerrado estocam altas quantidades de carbono no solo. Diante disso, foi verificado por meio do sensoriamento remoto multiespectral a dinâmica dos fluxos de CO₂ para áreas de Veredas. O CO₂ flux, segundo Silva e Baptista (2015), é eficiente para a modelagem do sequestro de carbono em diferentes ambientes, sendo visível uma proporcionalidade no sequestro e fluxo de carbono.

A capacidade de monitoramento de CO₂Flux utilizando dados de Landsat também devem ser destacados, os ambientes de veredas mapeados em Unai, conforme apresentados na figura 3 foram devidamente destacados, principalmente pela qualidade espectral dos satélites Landsat. Johnston e Barson (1993) argumentaram que a banda de infravermelho médio do Landsat TM era útil para mapear locais ou áreas úmidas. Draper et al., (2014) à avaliação precisa do estoque de carbono da turfeira tem efeitos significativos na compreensão do ciclo do carbono utilizaram imagens de sensoriamento remoto juntamente com dados de levantamento de campo para avaliar o estoque de carbono de turfeiras na Amazônia. Chinton et al., (2015) utilizaram dados do Landsat para estimar o balanço de carbono em turfeiras do Reino Unido e relataram resultados que estão em boa concordância com as estimativas de escala mais fina. Muitos cientistas também estimaram o armazenamento de carbono em manguezais (Hamdan et al., 2013; Zhang et al., 2014; Jones et al., 2015). Todos esses estudos foram significativos para o manejo da cobertura da terra e até mesmo para o ciclo do carbono.

Guo et al., (2017) concluíram que imagens espectrais podem ser usadas para classificação de áreas úmidas, além disso a biomassa vegetal em veredas é um importante indicador de sequestro de carbono pois controla o carbono que poderia ser potencialmente liberado para a atmosfera. Portanto, estimativas de biomassa em veredas com uso de

dados orbitais são essenciais para a compreensão do ciclo do carbono do ecossistema de áreas úmidas.

O mapeamento de regiões com potencial para o sequestro de carbono é extremamente importante, a combinação dos dados de imagens espectrais dos satélites orbitais e índices de estimativa de capacidade da vegetação em sequestrar carbono foi essencial para a caracterização no município de Unaí.

4 | CONCLUSÃO

A formação de índices vegetativos em imagens Landsat foi suficiente para o mapeamento do potencial de sequestro de carbono em Veredas no município de Unaí -MG.

Ao analisar a capacidade da vegetação das veredas no sequestro de carbono por meio dos índices vegetativos, conclui-se que as áreas de veredas são promissoras contribuindo com o fluxo de carbono sendo consideradas reguladoras das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, 22(6), 711-728.

Baptista, G. M. M (2003). Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05- 10 abril 2003. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 1037-1044, 2003.

Chen, Y., Guerschman, J. P., Cheng, Z., & Guo, L. (2019). Remote sensing for vegetation monitoring in carbon capture storage regions: A review. *Applied energy*, 240, 312-326.

Crichton, K. A., Anderson, K., Bennie, J. J., & Milton, E. J. (2015). Characterizing peatland carbon balance estimates using freely available Landsat ETM+ data. *Ecohydrology*, 8(3), 493-503.

da Silva, L. A. P., Veloso, G. A., & Leite, M. E. (2022). Estimativa do sequestro de carbono em diferentes usos e coberturas do solo em áreas do bioma cerrado, norte de Minas Gerais. *Geosul*, 37(81), 381-409.

Draper, F. C., Roucoux, K. H., Lawson, I. T., Mitchard, E. T., Coronado, E. N. H., Lähteenoja, O., & Baker, T. R. (2014). The distribution and amount of carbon in the largest peatland complex in Amazonia. *Environmental Research Letters*, 9(12), 124017.

Faria, O. C. O., Torres, G. N., Di Raimo, L. A. D. L., & Couto, E. G. (2023). Estimativa do estoque de carbono no solo via espectroscopia de reflectância difusa (vis/nir) sensoriamento remoto aéreo e orbital. *Revista Caatinga*, 36(3), 675-689.

Gong, Y., Ji, X. F., Hua, Y. T., Zhang, Y. L., & Li, N. (2020). Research progress of CO₂ flux in forest ecosystem based on eddy covariance technique: a review.

Guo, M., Li, J., Sheng, C., Xu, J., & Wu, L. (2017). A review of wetland remote sensing. *Sensors*, 17(4), 777.

- Hamdan, O., Khairunnisa, M. R., Ammar, A. A., Hasmadi, I. M., & Aziz, H. K. (2013). Mangrove carbon stock assessment by optical satellite imagery. *Journal of Tropical Forest Science*, 554-565.
- Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L., & Zhang, H. (2017). Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. *Science of the total environment*, 586, 319-327.
- Hu, T., Zhang, Y., Su, Y., Zheng, Y., Lin, G., & Guo, Q. (2020). Mapping the global mangrove forest aboveground biomass using multisource remote sensing data. *Remote sensing*, 12(10), 1690.
- Inácio, M. D. S. (2022). *Gestão florestal para o sequestro de carbono—o caso da Tapada Nacional de Mafra* (Doctoral dissertation, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa).
- Johnston, R. M., & Barson, M. M. (1993). Remote sensing of Australian wetlands: An evaluation of Landsat TM data for inventory and classification. *Marine and Freshwater Research*, 44(2), 235-252.
- Jones, T. G., Ratsimba, H. R., Ravaoarinorotsihoarana, L., Cripps, G., & Bey, A. (2014). Ecological variability and carbon stock estimates of mangrove ecosystems in northwestern Madagascar. *Forests*, 5(1), 177-205.
- Malerba, M. E., de Paula Costa, M. D., Friess, D. A., Schuster, L., Young, M. A., Lagomasino, D., ... & Macreadie, P. (2023). Remote sensing for cost-effective blue carbon accounting. *Earth-Science Reviews*, 238, 104337.
- Manzato, C. L. (2018). Estimativa de biomassa e estoque de carbono na cultura do eucalipto por meio de sensoriamento remoto.
- Mesquita, M. F. D. (2024). Sensoriamento remoto para estimativa de sequestro de carbono: uma revisão bibliométrica.
- Moreira, A. T., dos Santos, E. C., Nobrega, G. T., Regina, S., & de Carvalho, B. (2022). O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. *Revista Educação em Foco*, 14, 22-27.
- Mourão, M. A. A., Soares, A. G., Simões, E. J. M., Beato, D. A. C., Viana, H. S., & De Brito, R. M. D. (2001). Caracterização Hidrogeológica Do Município De Unaí. Cprm; Comig.
- Oliveira, E. S., Reatto, A., & Roig, H. L. (2017). Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 32(1/2), 71-93
- Oliveira, C. P. D., Francelino, M. R., Daher, M., Leles, P. S. D. S., & Andrade, F. C. D. (2019). Comparação de modelos estatísticos para estimativa da biomassa de árvores, e estimativa do estoque de carbono acima do solo em Cerrado. *Ciência Florestal*, 29, 255-269.
- Oliveira, E. R. F.; Neto, J. S. Perfil das cooperativas agropecuárias no Noroeste de Minas Gerais. *Colóquio-Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 19, n. 1, jan/mar, p. 261-280, 2022.
- Pechanec, V., Stržinec, F., Purkyt, J., Štěrbová, L., & Cudlín, P. (2017). Carbon stock in forest aboveground biomass—comparison based on Landsat data. *Central European Forestry Journal*, 63(2-3), 126-132.
- Pereira, T. T. C., & de Pádua Soares, L. (2018). Veredas do Triângulo Mineiro: estudos de solos e significância socioambiental. *Revista Geografica Academica*, 12(2), 138-152.

- Porto, K. C. N., Nunes, Y. R. F., & Ribeiro, L. M. (2018). The dynamics of recalcitrant seed banks of *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) reveal adaptations to marsh microenvironments. *Plant ecology*, 219, 199-207.
- Rahman, A. F., Gamon, J. A., Fuentes, D. A., Roberts, D. A., & Prentiss, D. (2001). Modeling spatially distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D24), 33579-33591.
- Rahman, A. F., Gamon, J. A., Fuentes, D. A., Roberts, D., Prentiss, D., & Qiu, H. (2000, February). Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In AVIRIS Workshop. Pasadena: JPL/NASA.
- Ribeiro, B. T., Nascimento, D. C., Curi, N., Guilherme, L. R. G., Costa, E. T. D. S., Lopes, G., & Carneiro, J. P. (2019). Assessment of trace element contents in soils and water from Cerrado wetlands, Triângulo Mineiro Region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43, e0180059.
- Salazar, R. C. (2016). *Forestry for a low-carbon future: Integrating forests and wood products in climate change strategies*. Rome: Fao Forestry Paper. Food And Agriculture Organization Of The United Nations.
- Santos, C. V. B. D. (2017). Modelagem espectral para determinação de fluxo de CO₂ em áreas de caatinga preservada e em regeneração.
- Santos, M. P. D. (2021). Estimativa de estoques de carbono da biomassa para áreas de Caatinga de Pernambuco.
- Shukla, P. R., Skeg, J., Buendia, E. C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Roberts, D. C., ... & Malley, J. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.
- Silva, M. A., & dos Anjos Lacerda, C. S. (2021). Análise do sequestro de carbono na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros utilizando técnicas de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geomática*, 9(3), 251-270.
- Silva, S. C. P. D., & Baptista, G. M. D. M. (2015). Análises espectrais da vegetação com dados hyperion e sua relação com a concentração eo fluxo de CO₂ em diferentes ambientes na amazônia brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(2), 354-370.
- Usgs, 2024. - United States Geological Survey.
- van Wesemael, B., Chabrillat, S., Sanz Dias, A., Berger, M., & Szantoi, Z. (2023). Remote Sensing for Soil Organic Carbon Mapping and Monitoring. *Remote Sensing*, 15(14), 3464.
- Wantzen, K. M., Couto, E. G., Mund, E. E., Amorim, R. S., Siqueira, A., Tielbörger, K., & Seifan, M. (2012). Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in the Brazilian Cerrado agroscape. *Agriculture, ecosystems & environment*, 151, 70-79.
- Zhang, X., Huang, X., Zhao, X., & Lu, R. (2010, November). Impacts of land use change on the vegetation carbon storage in the region around Taihu Lake, China. In *Sixth International Symposium on Digital Earth: Data Processing and Applications* (Vol. 7841, pp. 353-362). SPIE.

Zhang, Z., Huo, L., Su, Y., Shen, H., & Yang, G. (2024). Estimation of Corn Net Primary Productivity and Carbon Sequestration Based on the CASA Model: A Case Study of the Fen River Basin. *Sustainability*, 16(7), 2942.