

Análise do sequestro de carbono na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros utilizando técnicas de sensoriamento remoto

RESUMO

Com o passar dos anos, as elevadas concentrações de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera têm se acentuado, principalmente devido à incidência de desmatamentos e queimadas, os estudos sobre estoque e fluxo de carbono tornam-se necessários. Neste sentido, o presente trabalho visou avaliar, por meio de sensoriamento remoto multiespectral, o fluxo de CO₂ no bioma do Cerrado, para os meses de março, maio, junho, agosto e outubro de 2019, com intervalo entre as cenas de, aproximadamente, 51 dias, sendo que a área em estudo está localizada em parte do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – Goiás. Foram utilizados para base de dados, cinco cenas multiespectrais do satélite Sentinel-2, sensor MSI, avaliando a influência de incêndios no sequestro de carbono nesta região, no ano de 2019. A metodologia adotada, engloba o cálculo dos índices espectrais de vegetação NDVI, sPRI e CO₂flux. Os resultados obtidos para os índices, mostram que o sequestro de carbono é menor no período da seca, dado ao fato de ocorrer maiores focos de incêndio e baixa precipitação, o que não é visto em períodos de quantidade ideal de precipitação, bem como de menor número de focos de incêndio. Estes índices corroboraram para mensurar a dinâmica dos fluxos de carbono na área em estudo e seus efeitos. Além disso, tornou-se perceptível a influência dos focos de incêndio para o fluxo de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: Cerrado Brasileiro. CO₂flux. Imagens Multiespectrais. Sentinel - 2.

Micaela Almeida Silva

micaela.allmeida@gmail.com

orcid.org/0000-0002-1926-0983

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Inconfidentes, Minas Gerais, Brasil.

Camila Souza dos Anjos

camila.lacerda@ifsulde Minas.edu.br

orcid.org/0000-0002-6072-0881

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Inconfidentes, Minas Gerais, Brasil.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas um dos meios essenciais para a realização do monitoramento e mapeamento de recursos naturais tem sido as técnicas de Sensoriamento Remoto. Utilizando imagens orbitais pode-se visualizar toda região a ser estudada, permitindo um diagnóstico amplo sobre a dinâmica da paisagem.

Com o avanço tecnológico e desenvolvimento de novos sensores, tornou-se possível a obtenção de imagens orbitais com melhor resolução espacial, espectral e temporal, ampliando as aplicações em diversas áreas do conhecimento. Assim, estas imagens possuem um papel fundamental para monitoramento, identificação e compreensão das mudanças que ocorrem no meio ambiental, social e no uso das terras.

Com o aumento do desmatamento, bem como das queimadas, visualiza-se nacional e mundialmente as consequências no meio ambiental, como alterações no bioma, perda da diversidade biológica, desequilíbrio dos ciclos, dos processos ecológicos, além das altas temperaturas devido às mudanças climáticas e diminuição de taxas de precipitação. Estas alterações colaboram com o incremento de gás carbônico e outros gases do efeito estufa. Assim, há redução dos nutrientes e atividades fotossintéticas, conseqüentemente, redução do sequestro florestal do carbono (CASTRO, 2017).

Silva (2019) observou que, apesar da escassez de dados relacionados à dinâmica da vegetação no bioma do Cerrado, houve um incremento de 59% na ocorrência de queimadas em áreas com redução da taxa de desmatamento, o que faz com que se agravem as emissões de gases do efeito estufa e haja perda da biodiversidade, visualizando uma relação entre precipitação e incêndios florestais.

Dentre as diversas ferramentas do sensoriamento remoto que podem auxiliar no monitoramento de incêndios, queimadas e desmatamento, encontram-se os índices espectrais de vegetação, que se destacam como bons estimadores de biomassa, mudanças climáticas, quantificação do estoque e sequestro de carbono. Por meio dos índices espectrais, tem-se de maneira simples e eficiente a resposta das condições da vegetação, observando se a mesma se encontra sadia, com vegetação fotossinteticamente ativa, proporcionando diversas aplicações.

Para a redução das emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa), o sequestro de carbono é de suma importância, sendo este um processo de remoção do gás carbônico, que ocorre principalmente em florestas, sendo captado por meio da fotossíntese e emitido o gás oxigênio para a atmosfera. Por isso, as atividades antrópicas influenciam diretamente na diminuição do sequestro de carbono (BARBOSA *et al.*, 2013).

Os índices espectrais como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (ROUSE *et al.*, 1973) e o PRI (*Photochemical Reflectance Index*) (GAMON *et al.*, 1992), cooperam para a obtenção de outro índice, denominado CO₂flux, que quantifica o sequestro de carbono, possibilitando o mapeamento da vegetação fotossinteticamente ativa em determinada área de estudo. Ressalta-se que o CO₂flux é proporcional ao fluxo de carbono e, dependente da integração entre o NDVI com o PRI, resultando nesse novo índice.

O CO₂flux, segundo Silva e Baptista (2015a), é eficiente para a modelagem do sequestro de carbono em diferentes ambientes, sendo visível uma

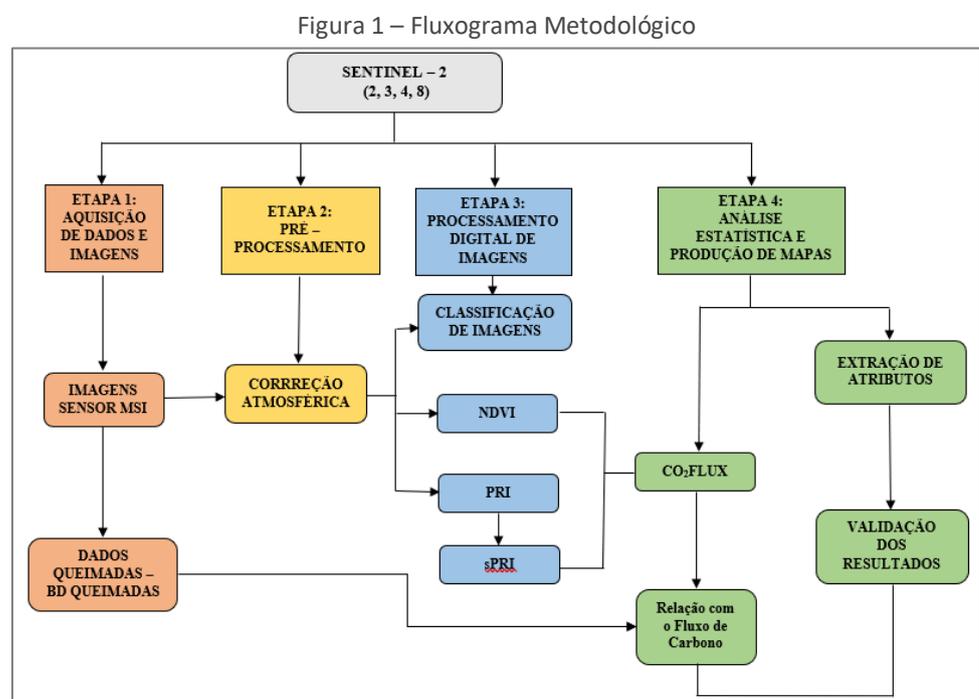
proporcionalidade no sequestro e fluxo de carbono. Além disso, foi verificado por meio do sensoriamento remoto multiespectral a dinâmica dos fluxos de CO₂ para áreas da Caatinga. Os resultados demonstraram boa correlação entre as propriedades físicas da Caatinga e os índices de vegetação utilizados, bem como os efeitos sazonais da dinâmica dos fluxos de CO₂, por meio do CO₂flux (SANTOS; BAPTISTA, 2017).

A maior parte do território brasileiro é composta por florestas de diferentes biomas, cada um com suas respectivas características, tornando o Brasil o segundo país com maior área de florestas. O cerrado brasileiro é um dos biomas mais ameaçados no mundo, já que as incidências de queimadas estão aumentando intensivamente (SFB, 2013).

Considerando a importância atual do tema das mudanças climáticas globais e a relação com o sequestro de carbono, bem como o desmatamento e queimadas, neste trabalho será analisado o impacto de incêndios no sequestro de carbono ao longo do ano de 2019, em uma área de 1.093.071,42 hectares, na qual situam-se parte do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e os municípios que o compõe, sendo eles: Alto do Paraíso de Goiás, Cavalcante e Teresina de Goiás. Serão verificadas cinco cenas, tornando possível a análise dos efeitos causados nesta área.

MÉTODOS

A metodologia do trabalho pode ser verificada no fluxograma a seguir (Figura 1).



Fonte: Autoria própria (2020).

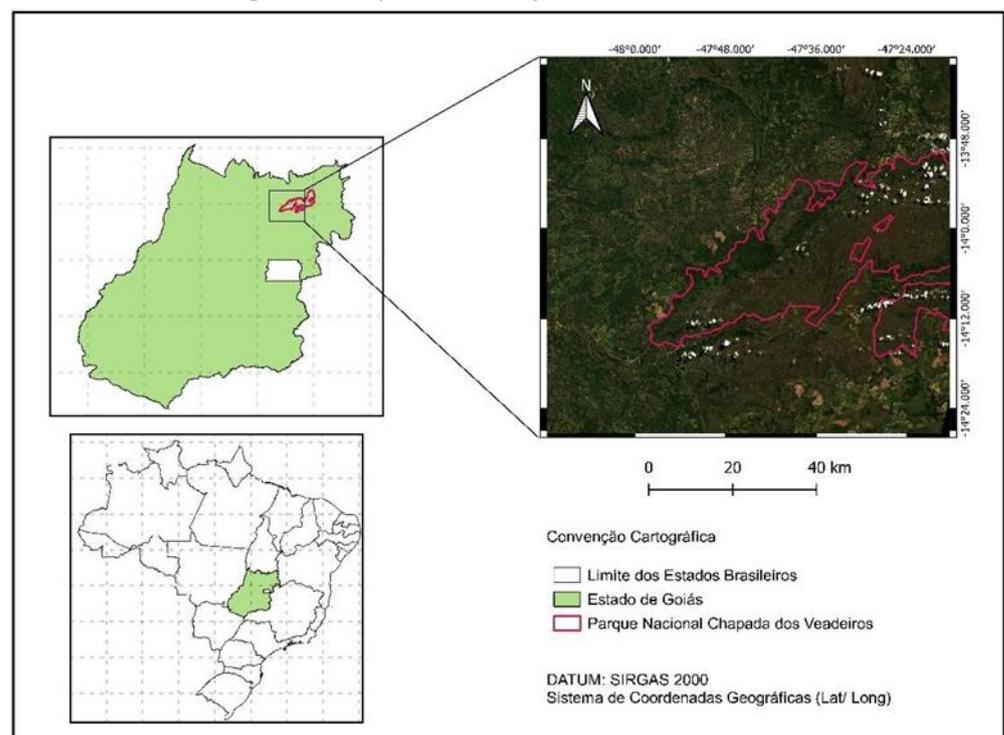
Mediante ao fluxograma apresentado anteriormente, pode ser compreendido os procedimentos a serem executados. Os dados utilizados são pertencentes ao

satélite Sentinel- 2. Na Etapa 1 realizou-se a aquisição de dados, onde realizou-se o download das cenas e os dados de queimadas e precipitação encontrados no banco de dados de queimadas do Inpe. Na Etapa 2 executou-se o pré-processamento, recorrendo à correção atmosférica por intermédio do processador *sen2cor*. O processamento digital das imagens iniciou-se na Etapa 3, em que efetuou a segmentação e classificação das imagens, após gerou-se os índices espectrais, sendo eles: NDVI, PRI e sPRI. Por fim, na Etapa 4 efetuou-se a análise estatística e produção dos mapas, nesta fase calculou-se o *CO2flux*, extração dos atributos estatísticos, decorreu-se também a relação do incêndio com o sequestro de carbono e enfim, a validação dos resultados.

ÁREA DE ESTUDO

Para a realização da análise de sequestro de carbono, foi escolhida uma área localizada na região que contém a porção oeste do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, região nordeste do Estado de Goiás. A cena em estudo encontra-se entre as coordenadas 13.6° e 14.4° de latitude sul e 47.2° e 48.0° de longitude oeste.

Figura 2 – Mapa de Localização da Área de Estudo



Fonte: Autoria própria (2020).

Esta região foi escolhida pois é uma área de reserva nacional que sofre grandes incêndios periodicamente. Além disso, muitos focos de incêndios ocorreram na área ao longo do ano de 2019, o que possibilita avaliar a influência dos incêndios florestais no sequestro de carbono.

OBTENÇÃO DOS DADOS

Para a escolha do período de cenas a ser estudado para determinação dos índices espectrais, averiguou-se um banco de dados para determinação das datas a serem estudadas. Assim, para a escolha das cenas foi observado o calendário de precipitação e focos de incêndio florestal para a região estudada.

Alguns autores como Torres (2010), Machado, Silva, Biudes (2014) atribuem em seus estudos diferentes meses com probabilidade de maior ocorrência de incêndio florestal, de acordo com cada região.

A priori, foi analisado o Banco de Dados de Queimadas do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) - BDQUEIMADAS, para a região em estudo, conforme disponibilidade dos dados referentes ao ano de 2019, sendo possível contabilizar os focos de incêndios e discriminar o período de análise entre as cenas.

Após a análise do Banco de Dados de Queimadas, foram delimitadas as datas: 19/03/2019, 08/05/2019, 27/06/2019, 21/08/2019 e 15/10/2019, com um espaço de tempo médio de 51 dias entre as cenas.

Para o presente trabalho, as cenas foram obtidas por meio do Catálogo do *Earth Explorer* (USGS), adquirindo as imagens do satélite SENTINEL- 2 e utilizando 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 10 metros e revisita de 5 dias.

Escolheu-se o satélite Sentinel-2 por apresentar cenas para as datas desejadas sem interferências expressivas das nuvens. Outro fator que contribuiu, é que este satélite possui revisita de 5 dias, tendo maior quantidade de cenas para serem escolhidas.

A primeira cena utilizada, datada de março (19/03/2019), representa um período com vegetação mais densa e menor foco de incêndio. Essa perspectiva altera-se diante dos meses seguintes, principalmente no mês de outubro (15/10/2019), onde a vegetação está mais seca e há uma consequência visível de interferências antrópicas, como as queimadas.

Posteriormente, foi realizada a seleção das imagens no Catálogo do *Earth Explorer* e seu respectivo *download*.

PRÉ- PROCESSAMENTO

Realizada 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 (SANCHES *et al.*, 2011).

Para isso, as imagens foram submetidas ao algoritmo *Sen2Cor*, que faz parte da *toolbox* Sentinel, fornecido pela Agência Espacial Europeia (ESA), um dos algoritmos utilizados para correção atmosférica de imagens Sentinel. Assim aplicou-se o tratamento de Reflectância de Superfície (SR), que representa uma das fases mais importantes no processamento digital de imagens.

PROCESSAMENTO

Após o pré-processamento das imagens, utilizou o *software eCognition* versão 9.0 para realizar a segmentação das cinco cenas da área de estudo, o algoritmo escolhido para segmentação foi o *multiresolution segmentation*, com o objetivo de obter um nível mais elevado de precisão das fronteiras dos objetos.

Em seguida, foram criadas as classes de interesse. Para isso, utilizou-se a ferramenta *Class Hierarch*, sendo criadas 6 classes, sendo elas vegetação densa, vegetação moderada, vegetação rasteira, solo, nuvens e água.

Por meio das ferramentas *Manual Edit* e *Classify Image Objects* é possível coletar segmentos amostrais para cada uma das classes com a finalidade de realizar o treinamento do classificador.

Para extração de atributos no *eCognition* foram adicionados três atributos para análise: média, moda e desvio padrão. Utilizou-se a ferramenta *Feature View* e selecionou-se a opção *Layer Values*, onde encontram-se os atributos de interesse.

Logo após, exportou-se as amostras e segmentos não classificados para o *software Weka* versão 3.8, minerador de dados utilizado neste estudo. Primeiramente, exportou-se apenas os segmentos amostrais e, em seguida, um conjunto teste contendo todos os segmentos não classificados.

Realizou-se a classificação das cenas em estudo por meio do *software Weka* e obteve-se a matriz confusão e o índice Kappa. Os segmentos do conjunto teste foram classificados em relação às amostras de treinamento, utilizando o algoritmo *Random Forest*. Por meio da ferramenta *Suppled test set* foram inseridos os segmentos a serem classificados e selecionado o rótulo de referência, sendo este denominado *class name*.

O minerador de dados trabalha na classificação com dados do tipo texto, bem como dados numéricos. Ao obter os resultados, os mesmos foram inseridos no arquivo *shapefile*, gerado na segmentação das imagens, a fim de tornar possível sua visualização. Para obtenção de uma classificação visual este arquivo foi salvo e inserido no *software QGIS* versão 3.14, no qual foi possível observar as cenas classificadas de acordo com as classes de interesse. Utilizou-se ainda o *software QGIS* para calcular os índices espectrais de vegetação a partir das imagens originais, por meio da calculadora *raster*.

Por meio do índice espectral de vegetação NDVI, torna-se possível analisar as condições da vegetação, já que é um indicador sensível de vegetação verde. As coberturas vegetais mais densas e vigorosas são indicadas por valores mais elevados de NDVI, valores menores representam uma vegetação moderada e vegetação rasteira, enquanto valores negativos são apresentados por meio da presença de solo e água (FARACINI, 2017). 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.

O cálculo do NDVI baseia-se no método da razão entre as bandas monocromáticas. No satélite Sentinel- 2 estas bandas correspondem ao comprimento de onda central 842 nm (NIR) e 490 nm (RED) conforme apresentados na Equação 1:

$$\text{NDVI}=(\text{NIR-RED})/(\text{NIR+RED}) \quad (1)$$

Para o cálculo do PRI (*Photochemical Reflectance Index*) que mede a eficiência no uso da luz no processo fotossintético. Para o cálculo é realizada a relação de bandas correspondentes ao comprimento de onda central 490 nm (*BLUE*) e 560 nm (*GREEN*), ou seja, a absorção da banda do azul, em relação ao pico ocorrido na banda de reflexão do verde (OLIVEIRA; GANEM; BAPTISTA, 2017), variando entre -1 e 1 (Equação 2).

$$\text{PRI}=(\text{BLUE-GREEN})/(\text{BLUE+GREEN}) \quad (2)$$

Como o resultado do PRI é apresentado com valores negativos, os mesmos precisam ser reescalados, para, em seguida, ser calculado o sequestro de carbono (ALMEIDA; ROCHA, 2018). Assim, o novo índice (Equação 3) é denominado sPRI (*Scaled Photochemical Reflectance Index*), que possui a mesma característica do índice espectral PRI, porém apresentado em uma escala que varia de 0 a 1 (RAHMAN *et al.*, 2000).

$$\text{sPRI}=(\text{PRI}+1)/2. \quad (3)$$

A modelagem do Índice de Sequestro de Carbono (*CO₂flux*) mede a eficiência do sequestro de carbono pela vegetação. A capacidade da planta para realizar este procedimento é proporcional a elevação da fotossíntese. Assim, quanto maior for a realização da fotossíntese, maior será a concentração de carbono sequestrado (POLONIO *et al.*, 2015).

O *CO₂flux* também é um índice espectral proporcional ao fluxo de carbono, já que apresenta comportamento análogo a este fluxo, que ocorre em função da fotossíntese. Quanto maior for a atividade fotossintética, menor a intensidade do fluxo de carbono (BAPTISTA, 2004).

Para geração do *CO₂flux*, segundo propôs Rahman *et al.* (2000) é necessário realizar a integração entre NDVI e o sPRI, correlacionando as taxas de fotossíntese e o sequestro de carbono (Equação 4).

$$\text{CO}_2\text{flux}=\text{NDVI}*\text{sPRI}. \quad (4)$$

Para trabalhar com os valores efetivos do índice de *CO₂flux* ($\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), seria necessário fazer uso de dados provenientes de uma torre micrometeorológica para realizar a regressão entre os valores do fluxo medido na torre e os valores de *CO₂flux*, como realizado por Silva e Baptista (2015). Neste trabalho, ao obter a cena do *CO₂flux*, trabalhou-se com os dados desse índice sendo considerados proporcionais ao fluxo de carbono e adimensional, pois é baseado em dois índices de diferença normalizada (MARTINS; BAPTISTA, 2013).

Após a observação da imagem, gerou-se um histograma, por meio do qual foi possível visualizar a variação dos valores ao longo da cena. Em seguida, foi realizado o fatiamento deste histograma em três classes, contendo a área em que o fluxo apresentava maior, média e menor proporção de sequestro de carbono. As três classes do fatiamento foram associadas respectivamente ao sequestro de carbono, respiração e não sequestro de carbono.

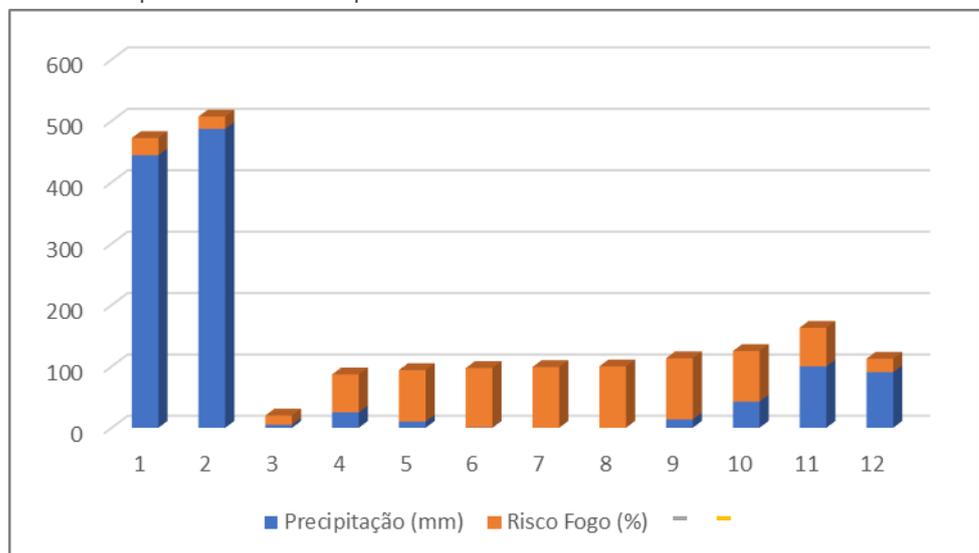
Por fim, os índices espectrais foram submetidos à uma análise estatística, averiguando a média, desvio padrão e a porcentagem válida desta destes valores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizou-se a análise de precipitação e dos focos de incêndio (Gráfico 1) para o ano de 2019 na área em estudo. Os meses de janeiro e fevereiro apresentam maiores taxas de precipitação, enquanto para o mês de março até maio a precipitação varia entre 5 a 25 mm. Para o mês de junho até agosto as precipitações são praticamente nulas e depois deste período a variação ocorre entre 14 a 100 mm.

Em relação aos focos de incêndio para o ano de 2019 (Gráfico 1), nota-se que os meses com maior agrupamento estão entre junho e setembro. Assim, já se espera que, as cenas entre junho e setembro tenham uma diminuição perceptível de sequestro de carbono, dada a interferência de precipitação e focos de incêndio na região.

Gráfico 1 – Dados de Precipitação e Risco de Fogo para os Municípios que englobam o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros - Janeiro a Dezembro de 2019



Fonte: BDQUEIMADAS (2019).

Buscou-se por cenas do início e final do ano, porém há ausência de dados com pouca cobertura de nuvens neste período. No entanto, não há interferência na pesquisa, pois estes meses englobam maior precipitação e menor número de focos de incêndio (Gráfico 1). Como o objetivo é analisar o impacto do período de incêndio no sequestro de carbono, às datas que distanciam muito deste período, já apresentam alguns dados de regeneração.

Após obtenção dos dados mediante o processamento realizado pelo *software Weka*, avaliou-se através do índice *kappa* o desempenho do algoritmo aplicado na classificação, sendo este *Random Forest*. O *kappa* alcançado para as cinco cenas em estudo foi no valor de 0,9. Congalton e Green (1999) apresentam em sua pesquisa critérios utilizados para a classificação do índice *kappa*, sendo que os valores maiores que 0,8 e menores que 1 representam uma concordância excelente.

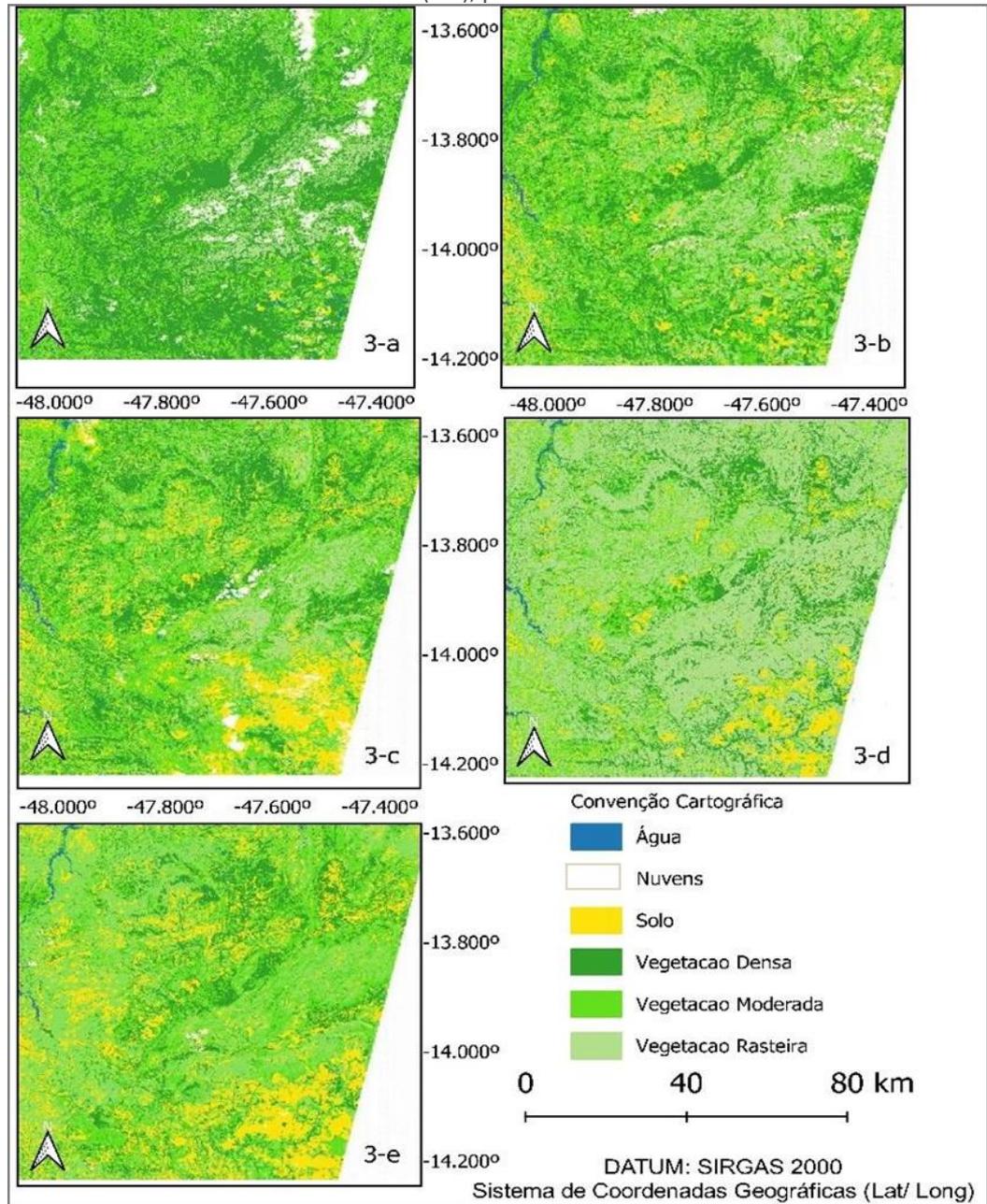
Vale ressaltar que outro aspecto considerado foi a exatidão global, que aponta a probabilidade de as classificações terem sido processadas corretamente. Sabendo que os meses analisados foram março, maio, junho, agosto e outubro

adquiriu-se uma exatidão global no valor de 91,03%, 91,96%, 87,68%, 91,31% e 91,81%, respectivamente. Segundo Congalton (1991) a exatidão global expressa os pixels classificados corretamente, de acordo os elementos presentes na diagonal principal, norteando a avaliação da classificação.

Realizou-se a classificação visual por meio do *software* QGIS, sendo apresentada de acordo cada mês em estudo (Figura 3). A cena referente ao mês de março (Figura 3-a) apresenta poucas áreas de solo e vegetação rasteira, sendo perceptível na região uma área de vegetação densa e uma área mais abrangente, contendo a vegetação moderada. Já para o mês de maio (Figura 3-b), a classificação da cena apresentou um espalhamento maior da vegetação rasteira e solo exposto. Ressalta-se que, para estes meses não há altas incidências de focos de incêndio, colaborando para que a vegetação seja mais saudável e menos seca, conforme discutido anteriormente (Tabela 1 e Tabela 2).

A classificação para o mês de junho (3-c) apresentou áreas maiores da classe solo, isso porque houve maior exposição da vegetação devido aos focos de incêndio. Para o mês de agosto (3-d) nota-se que houve uma diminuição na vegetação densa, bem como para a vegetação moderada, e um aumento expressivo para a vegetação rasteira, dado a época do ano ser mais seca. Visualizando o mês de Outubro, percebe-se que houve grande perda na área de vegetação densa e intensificou as áreas de solo (Figura 3-e), podendo ser explicado pela seca e incêndio ocorrido na região em um período anterior à data desta cena.

Figura 3 – Classificação da Cena dos Meses de Março (3-a), Maio (3-b), Junho (3-c), Agosto (3-d) e Outubro (3-e), para o ano de 2019.



Fonte: Autoria Própria (2020).

A tabela 1 apresenta a quantificação da área em estudo de acordo com a classificação de imagens, sendo representadas por valores em percentual. Visualiza-se diminuição na área de vegetação densa, já a vegetação moderada aumenta nos meses de março, maio e junho, porém diminui no mês de agosto, dado a altas taxas incêndio e seca, para a última análise no mês de outubro, apresenta um acréscimo. A área de vegetação rasteira aumenta com o passar dos meses, diminuindo apenas no mês de outubro. Há um aumento para o solo exposto de acordo a análise das cenas, enquanto a área da classe de água permanece constante.

Tabela 1 – Área (%) das Classes para Cada Mês em Estudo

Cena	Veg. Densa	Veg. Mod.	Veg. Rast.	Solo	Água
19/03/2019	48	35	15	1	1
08/05/2019	28	40	24	7	1
27/06/2019	23	42	22	12	1
21/08/2019	16	18	50	15	1
15/10/2019	15	22	44	18	1

Fonte: Autoria Própria (2020).

Após obter a classificação das imagens, gerou-se os índices espectrais de vegetação com foco maior na obtenção do fluxo de carbono. O Índice de Vegetação NDVI calculados mostram que valores mais próximos de 1 correspondem às áreas com vegetação mais densa, os valores em torno de zero ou zero indicam superfície não vegetada ou com pouca vegetação e valores inferiores a isto, presença de água e solo. Sendo que os valores maiores que 0,69 até 0,99, indicam alta densidade vegetal, valores maiores que -0,24 até 0,69 apresentam vegetação moderada e rasteira, já os valores entre -0,24 e -0,95 representam as áreas de água e solo.

Para o índice espectral sPRI, observou-se que os valores entre 0,25 e 0,85 indicam baixa estocagem de carbono, enquanto valores menores que 0,25 até 0,0004 apresentam alta taxa de armazenagem de dióxido de carbono nas folhagens. Neste intervalo a vegetação apresenta alta taxa de produtividade. Após realizou-se o cálculo do CO₂flux e gerou-se um histograma, no qual foi analisado a frequência de determinado intervalo espectral e realizado o fatiamento, possibilitando melhor visualização dos locais de maior ou menor incidência do sequestro de carbono. Assim, a cena foi subdividida em quatro classes a partir do intervalo de máximo e mínimo, sendo elas: ANF (Área Não Fotossintética), fluxo de carbono alto, fluxo de carbono médio e fluxo de carbono baixo.

Por meio dos mapas de CO₂flux (Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8), torna-se possível analisar a intensidade do Fluxo de CO₂ para os meses em estudo. A partir destes dados verifica-se que os valores menores que 0,05 caracterizam a região de ANF, ou seja, ausência de fluxo de carbono. Os intervalos maiores que 0,05 até o valor de 0,15, representam um fluxo de carbono baixo. Entre o intervalo de 0,15 a 0,21 tem-se uma área com fluxo de carbono médio. Já para a região com maior intensidade de fluxo de CO₂ encontram-se os valores maiores que 0,28. Os valores de mínimo e máximo para o CO₂flux em cada cena são apresentados a seguir (Tabela 2).

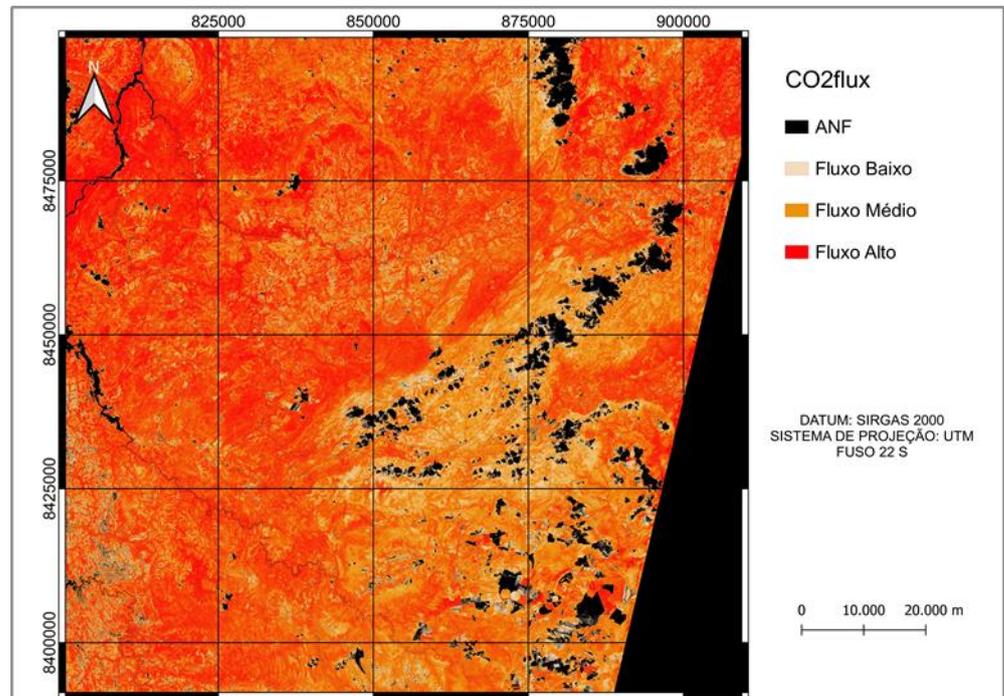
Tabela 2 – Intervalo Espectral do CO₂flux

Cena	Máximo	Mínimo
19/03/2019	0,55	-0,49
08/05/2019	0,49	-0,41
27/06/2019	0,52	-0,38
21/08/2019	0,36	-0,15
15/10/2019	0,48	-0,18

Fonte: Autoria Própria (2020).

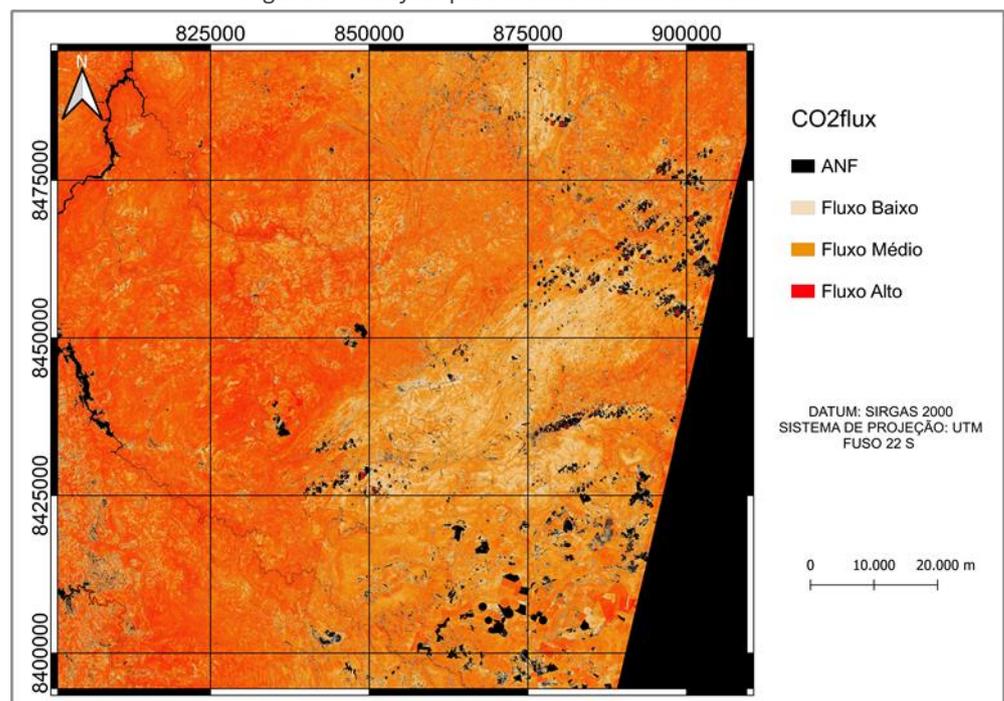
De acordo os intervalos de máximo e mínimo do fluxo de carbono verifica-se o que já foi dito por Batista (2004), o qual aborda em seu estudo que quanto maior a atividade fotossintética, maior será a eficácia do processo de sequestro de carbono, levando em consideração que a absorção na faixa do espectro eletromagnético do azul e vermelho são maiores.

Figura 4 – CO₂flux para a Cena do mês de Março



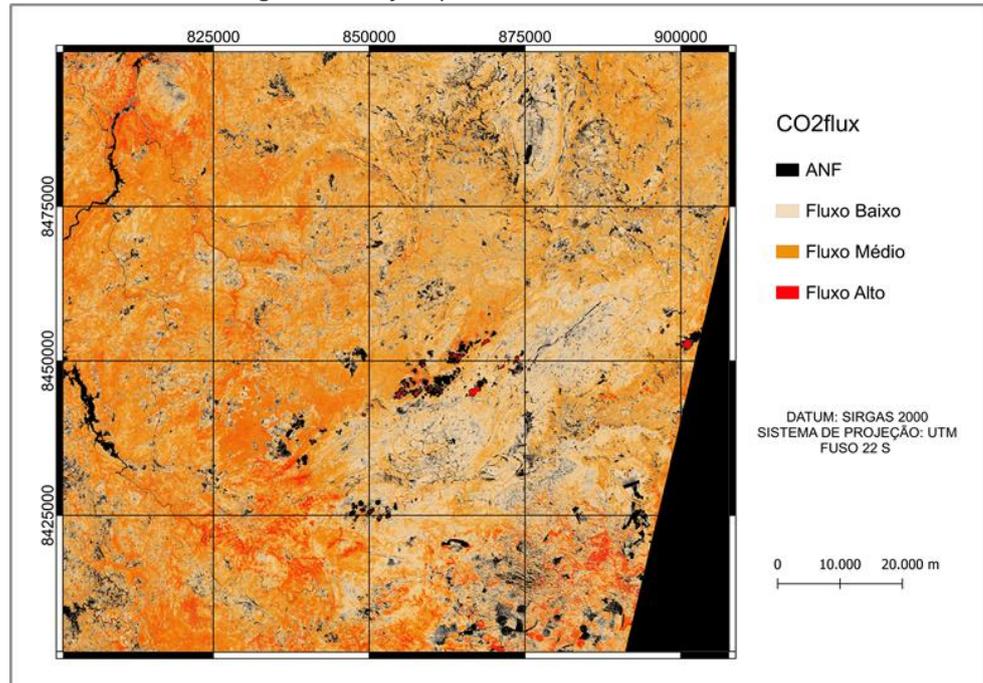
Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 5 – CO₂flux para a Cena do mês de Maio



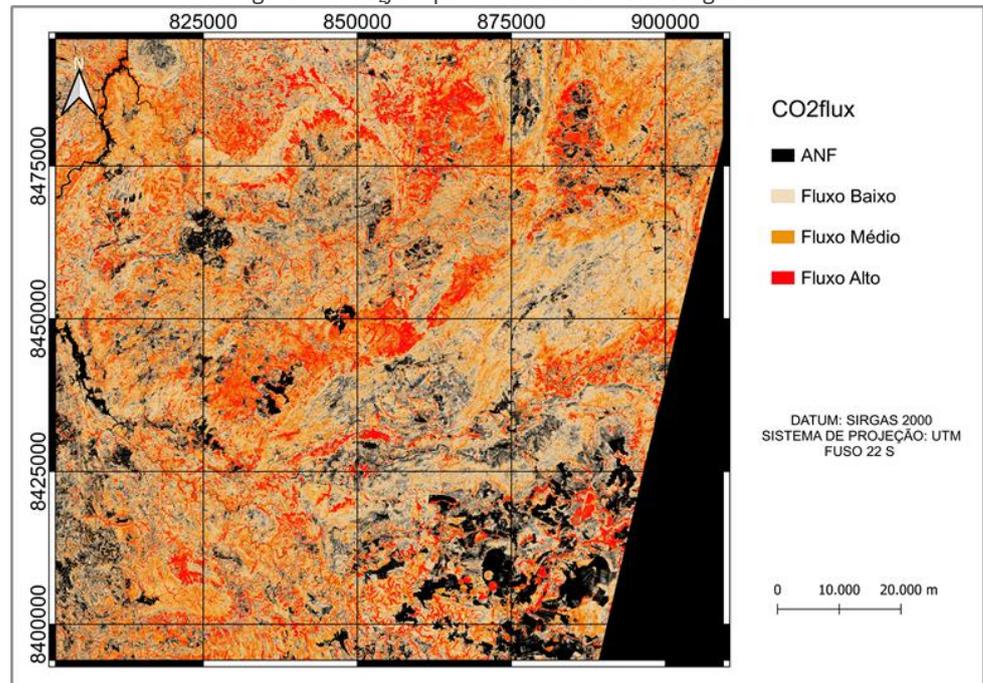
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 6 – CO₂flux para a Cena do mês de Junho



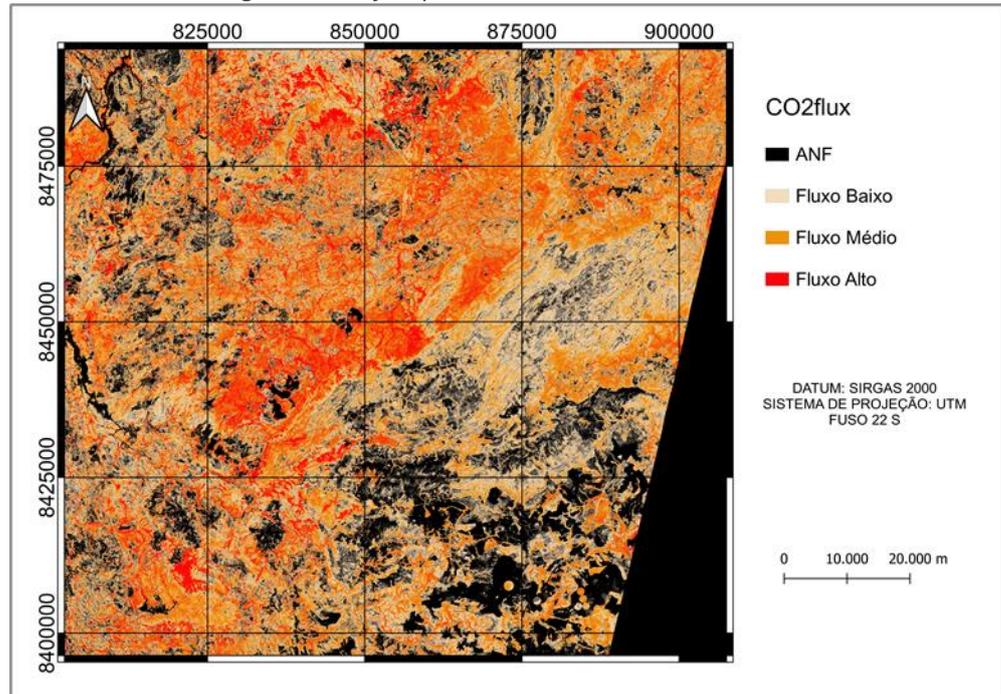
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 7 – CO₂flux para a Cena do mês de Agosto



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 8 – CO_2flux para a Cenas do mês de Outubro



Fonte: Autoria própria (2020).

Segundo Folharini e Oliveira (2017), os valores de CO_2flux que estão próximos ao rio apresentam maior concentração de fluxo de carbono na vegetação, auxiliando na estabilidade de vertentes e possibilitando a redução do impacto da água no solo.

O CO_2flux possui uma relação visual semelhante ao NDVI, isso porque este possui uma variabilidade muito grande, em torno de 5% até 70%, diferente do que ocorre com o índice espectral sPRI. Sendo assim, os valores estatísticos entre estes índices podem ser semelhantes. Os dados estatísticos avaliados para os meses em estudo, de acordo com os índices espectrais foram, média, desvio padrão e porcentagem válida (Tabela 4).

Para o mês de março, observou que os valores de média para os índices espectrais variaram entre 0,22 e 0,64, enquanto para o desvio padrão, estes valores variaram entre 0,04 e 0,17. A porcentagem válida para os três índices de vegetação é 91,97%.

Em maio, os valores de média variaram de 0,20 até 0,67 para a análise dos índices espectrais. Já para o desvio padrão, os valores variaram entre 0,04 e 0,16, com porcentagem válida para os três índices de vegetação no valor de 91,71%.

A cena representada pelo mês de junho, apresentou valores estatísticos que variaram entre 0,18 e 0,57 na análise dos índices espectrais. Já para o desvio padrão, os valores variaram entre 0,04 e 0,16, com porcentagem válida para os três índices de vegetação no valor de 91,78%.

Os valores entre 0,17 e 0,43 representam a análise estatística para média para a cena do mês de agosto, em relação aos dados dos índices espectrais. Para a análise de desvio padrão, observou que os valores encontram entre 0,02 e 0,14, com porcentagem válida para os três índices de vegetação no valor de 91,85%.

Por fim, para a cena do mês de outubro, os valores de média estão contidos entre 0,17 e 0,45 e o desvio padrão entre os valores de 0,04 e 0,17, com porcentagem válida para os três índices de vegetação no valor de 91,14%.

O CO₂flux possui uma relação visual muito parecida com o NDVI, o que já era esperado, já que a variabilidade do índice espectral do NDVI é maior, diferente do que ocorre com o PRI e, conseqüentemente o sPRI. Rahman et al. (2001), diz em seu estudo que esse índice varia ao longo do dia, com as diferenças de intensidades luminosas e, durante a noite, este procedimento é inverso.

Quadro 2 – Dados Estatísticos para os Índices Espectrais nos Meses em Estudo

Mês	Índice Espectral	Média	Desvio Padrão	% Válida
Março	NDVI	0,64	0,17	91,97
	sPRI	0,35	0,05	
	CO ₂ flux	0,22	0,05	
Maio	NDVI	0,67	0,16	91,71
	sPRI	0,31	0,06	
	CO ₂ flux	0,20	0,04	
Junho	NDVI	0,57	0,16	91,78
	sPRI	0,33	0,07	
	CO ₂ flux	0,18	0,04	
Agosto	NDVI	0,43	0,14	91,85
	sPRI	0,40	0,02	
	CO ₂ flux	0,17	0,05	
Outubro	NDVI	0,45	0,17	91,14
	sPRI	0,39	0,04	
	CO ₂ flux	0,17	0,06	

Fonte: Autoria própria (2020).

As cenas do início do ano, dos meses de março e maio, como já esperado, apresentaram valores maiores de sequestro de carbono, isso porque contêm áreas fotossinteticamente ativas, como a vegetação densa, além de estar em um período sazonal onde a vegetação encontra-se mais saudável, com maior precipitação e baixo foco de incêndio. Para a cena de junho e agosto, o sequestro de carbono já diminui significativamente, já que a área está com vegetação mais seca, ao se comparar com as cenas iniciais. O mês de outubro, apresenta menor sequestro de carbono, pois, nesta época, os focos de incêndio na região são maiores e a precipitação continua baixa, caracterizando uma área mais seca, com maiores cicatrizes, especialmente no ano de 2019, em que ocorreu um intenso incêndio na região.

Outro fator que afeta o sequestro de carbono é o desmatamento. Junior Silva *et al.* (2020) verificaram, em seu estudo, que em regiões onde há aumento do desmatamento corroboram para mudanças na configuração da cobertura vegetal, havendo perdas diretas de carbono.

CONCLUSÕES

As classificações, realizadas nas cenas em estudo, possibilitaram compreender as classes de cada região e averiguar os efeitos do sequestro de carbono.

Os índices espectrais de vegetação, mostram-se como uma ferramenta importante para a caracterização da cobertura vegetal. Principalmente a aplicação do índice CO_2flux por meio da integração entre NDVI e o sPRI proposta por Rahman et al. (2000) para a análise de sequestro de carbono mostrou ser eficiente para a avaliação temporal da área de estudo, compreendendo de maneira ativa o fluxo de carbono em coberturas vegetais distintas.

Os resultados mostraram-se satisfatórios, já que se observou claramente por meio dos mapas de CO_2flux que o fluxo de carbono é menor em áreas compreendidas por um período de maior incidência da seca e, conseqüentemente dos incêndios.

Em suma, verificou-se que as ferramentas de Sensoriamento Remoto promovem maior assertividade nas análises de fluxo de carbono. A seca, bem como os incêndios ocorridos no decorrer do ano resultam em efeitos negativos, sabendo que a eficácia do fluxo de carbono está relacionada a taxa de fotossíntese. Provavelmente, a diminuição do teor de vegetação acarretará uma elevada emissão de calor e, por conseguinte, gases do efeito estufa.

Analysis of the impact of driver for carbon sequestration in the Chapada dos Veadeiros National Park region

ABSTRACT

Over the years, as high greenhouse gas (GHG) emissions in the atmosphere have increased, mainly due to incidence of deforestation and fires, therefore, studies on carbon stock and flow become necessary. This present work aimed to evaluate, by means of multispectral remote sensing, CO₂ flow in the Cerrado biome, for months of March, May, June, August and October, with an interval between the scenes of approximately 51 days, and an area under study is located in the part of the Chapada dos Veadeiros National Park - Goiás. Sentinel-2 images were used in the database, analyzing the five multispectral scenes from the MSI sensor, visualizing the fire's influence in carbon sequestration in this region, in year 2019. The methodology adopted includes the calculation of NDVI, sPRI and CO₂flux spectral indices of vegetation. Results obtained for the indexes show that carbon sequestration is lower in drought period, due to more significant greater outbreaks of fire and low reduction, which is not seen in periods of the ideal amount of depletion and fewer fires. These indexes corroborated to measure dynamics of carbon flows in the area under study and, their effects, moreover, became noticeable the influence of fire sources for the carbon flow.

KEYWORDS: Brazilian cerrado biome. CO₂flux. Multispectral images. Sentinel – 2.

AGRADECIMENTO

As autoras agradecem ao IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R. R.; ROCHA, K. S.. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI, e CO₂flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra. 2018.

BAPTISTA, G. M. M.. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectrais. **Geografia**, v. 29, n. 2, p. 189-202, 2004.

BARBOSA, R.R.N.; GALVÃO, M.; GALVÃO, A.R.A.; SILVA, A.A.; NETO, C.F.O.. PRODUÇÃO E SEQUESTRO DE CARBONO NA ATMOSFERA. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.9, n.16, p.1783, 2013.

CASTRO, A. G.. Estimativa de sequestro de carbono florestal para restauração ecológica devido às emissões de CO₂ na instalação de uma central geradora hidrelétrica-CGH. 2017.

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 DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal, RN: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. v.1. p.121-128.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Nova York, Boca Raton: Lewis Publishers, 137 p., 1999.

FARACINI, J. C. B.. Técnicas de detecção remota na monitorização da vegetação e a contribuição da Ria Formosa no ciclo do carbono. 2017.

FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C.. Cálculo do índice espectral CO₂flux em área de mata atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., 2017, Campinas. **Anais [...]**. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas. 2017 v.1, p.4642-4653. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2175>

GAMON, J.A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C.. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sens. Environ.** 1992, 41, 35–44.

JUNIOR SILVA, C. H. L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; SHIMABUKURO, Y. E.; VANCUTSEM, C.; ACHARD, F.; BEUCHLE, R.; NUMATA, I.; SILVA, C. A.; MAEDA, E. E.; LONGO, M.; SAATCHI, S. S.. Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses. **Science Advance**. 2020. DOI: 10.1126 / sciadv.aaz8360.

MACHADO, N. G.; SILVA, F. C. P.; BIUDES, M. S.. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 459-469, 2014. DOI: 10.5902/2179460X11892.

MARTINS, L. N.; BAPTISTA, G. M. M.. Análise multitemporal do sequestro florestal de carbono no projeto de Assentamento Carão, Acre. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 06, p. 1648-1657, 2013.

POLONIO, V. D.; FILGUEIRAS, R.; CARVALHO, T. M.; NICOLETE, D. A. P.; SARTORI, A. A. C.; ZIMBACK, C. R. L.. Avaliação temporal do sequestro de carbono por meio de imagens orbitais na região de Botucatu-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015, João Pessoa, PB. **Anais [...]**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015.

RAHMAN, A. F.; 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, n. 24, p. 579-591, 2001.

RAHMAN, A.F.; GAMON, J.A.; FUENTES, D.A.; ROBERTS, D. A; PRENTISS, D.; QIU, H.. Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: AVIRIS Workshop. **Proceedings [...]**. JPL/NASA, Pasadena, California, 2000.

ROUSE, J. W.; HAAS JR, R. H.; SCHELL J. A.; DEERING, D. W.. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium. **Proceedings [...]**. NASA SP-351 I, 309–317, 1973.

SANCHES, I. D. A.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F. & RODRIGUES, C. A. G.. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5-TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In Embrapa Territorial- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011.

SANTOS, C. V. B.; BAPTISTA, G. M. M.. Modelagem espectral para determinação de fluxo de CO2 em áreas de caatinga preservada e em regeneração. 2017.

SFB, SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo-2013: dados de 2007-2012**. Brasília, Brasil: Serviço Florestal Brasileiro, 2013.

SILVA, J. R.. Dinâmica do carbono em solos sob áreas de pastagens no bioma cerrado. 2019.

SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. M.. Análises espectrais da vegetação com dados Hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO₂ em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 2, p. 354-370, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702015000200020>.

SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. M.. MODELAGENS DE SEQUESTRO FLORESTAL DE CARBONO E DOS CONTEÚDOS DE CO₂ ATMOSFÉRICO COM DADOS HYPERION EM DIFERENTES AMBIENTES NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, p. 1509-1521, 2015.

OLIVEIRA, M. T.; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. DE M.. ANÁLISE SAZONAL DA RELAÇÃO ENTRE SEQUESTRO DE CARBONO E ILHAS DE CALOR URBANAS NAS METRÓPOLES DE SÃO PAULO, RIO DE JANEIRO, BELO HORIZONTE E BRASÍLIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 4, 12 abr. 2017.

TORRES, F.T. P.. Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 297-303, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000200012>.

Recebido: 30 nov. 2020

Aprovado: 30 jun. 2021

DOI: 10.3895/rbgeo.v9n3.13542

Como citar: SILVA, M. A; ANJOS, C. S.. Análise do sequestro de carbono na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 251-270, jul./set. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Micaela Almeida Silva

Avenida Walkir Vergani, 111, CEP 11618-107, Boiçucanga, São Sebastião, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

