

Universidade de Brasília – UnB
Trabalho de conclusão do curso de Ciências Ambientais

**POTENCIALIDADE DOS DADOS WPM CBERS 4A PARA A IDENTIFICAÇÃO DA
INTERFERÊNCIA ANTRÓPICA EM ELEMENTOS DO CICLO HIDROLÓGICO NO CAMPUS
DARCY RIBEIRO**

Catarina Balduino Sollaci
Pollyne Coutinho Lima

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista
Orientador

BRASÍLIA, DF
2021

RESUMO

O crescimento territorial acelerado gera impactos ambientais como o aumento de áreas impermeáveis e consequente redução da vegetação. Tais impactos afetam diretamente a qualidade e disponibilidade da água. Nesse sentido, torna-se relevante para o planejamento territorial urbano o levantamento de informações relativas aos elementos do ciclo hidrológico no contexto urbano, com objetivo de estabelecer medidas que minimizem os impactos ambientais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a potencialidade dos dados do sensor WPM do satélite CBERS 4A para a identificação das interferências antrópicas em elementos do ciclo hidrológico (interceptação, infiltração e escoamento superficial), no campus Darcy Ribeiro. Isso foi realizado, por meio da detecção dos efeitos da sazonalidade climática no comportamento da vegetação, utilizando modelos de sequestro de carbono. Foi possível diferenciar os estratos vegetativos e identificar as áreas com e sem vegetação, e quais dessas áreas possuem ou não interferências antrópicas. A vegetação arbórea demonstra menor dependência hídrica em relação à vegetação herbácea, que tem água como fator limitante. Portanto extratos herbáceos diminuem sua atividade fotossintética em períodos secos e a vegetação arbórea mantém atividade alta. Baseando-se nos resultados obtidos confirmou-se a potencialidade dos dados do satélite CBERS 4A/sensor WPM para identificação dos elementos do ciclo hidrológico.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; sensor WPM; fusão de imagens; variação sazonal.

ABSTRACT

The rapid territorial growth results in environmental impacts such as the increase of impermeable areas as well as the suppression of vegetation. Such impacts directly affect water quality. Therefore, it is relevant for urban territorial planning to study the hydrological cycle and its elements in an urban context, to establish measures that minimize those negative impacts. The present study aimed to verify the potential of the CBERS 4A satellite/ WPM sensor data for identifying component areas of the hydrological cycle - interception, infiltration, and occurrence of superficial runoff – on the Darcy Riberio campus through detecting the effects of climatic seasonality on the vegetation behavior, using carbon sequestration models. It was possible to differentiate the vegetative strata and identify the areas with and without vegetation, and which of these areas have anthropic interference. Tree vegetation, in general, shows little variability between dry and rainy periods. Herbaceous vegetation photosynthetic activity is lower in times of drought. Based on the results, the potential of the CBERS 4A satellite/ WPM sensor data for the identification of hydrological elements was confirmed.

Palavras-chave: remote sensing; WPM sensor; image fusion; seasonal variation.

Índice

Lista de abreviações, 1

Lista de figuras, 2

1. Introdução, 3

1.1 Objetivo, 4

1.2 Estrutura, 4

2. O ciclo hidrológico e seus componentes, 4

2.1 Sensoriamento remoto para estudo do ciclo hidrológico em áreas urbanas, 5

3. Materiais e Métodos, 7

3.1. Fusão das imagens, 9

3.2. Aplicação dos índices, 10

4. Resultados e discussão, 13

5. Conclusão, 21

Referências, 23

Lista de abreviações

CO2flux – Índice de sequestro de carbono pela vegetação

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

PRI – Photochemical Reflectance Index (Índice de Reflectância Fotoquímica)

sPRI – Valores de PRI reescalados

WPM - Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura

CBERS - *China-Brazil Earth Resources Satellite*

Lista de Ilustrações

Figura 1: Fluxo das etapas da metodologia

Figura 2: Gráfico mensal de chuva acumulada para o ano de 2020

Figura 3: Imagem dos meses de janeiro e agosto de 2020 com dados de CO₂flux e transectos da gleba A (A - B) e gleba B (C - D).

Figura 4: Transecto da gleba A, no sentido A - B, dos valores de CO₂flux por pixel para janeiro e agosto de 2020.

Figura 5: Imagens correspondentes ao pixel 47 – Setor arboreto, Campus Darcy Ribeiro/ UnB

Figura 6: Imagens correspondentes ao pixel 610 – Setor Sul, Campus Darcy Ribeiro/ UnB

Figura 7: Imagens correspondentes ao pixel 511 – Setor centro, Campus Darcy Ribeiro/ UnB

Figura 8: Transecto da gleba B, no sentido C - D, dos valores de CO₂flux por pixel para janeiro e agosto de 2020.

Figura 9: Imagens correspondentes ao pixel 232 – Setor península, Campus Darcy Ribeiro/

Figura 10: Imagens correspondentes ao pixel 157 – Setor centro olímpico, Campus Darcy Ribeiro/ UnB UnB

Figura 11: Imagens correspondentes ao pixel 67 – Setor centro olímpico, Campus Darcy Ribeiro/ UnB

1. INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico e espacial exponencial resulta na ocupação do solo de forma mal distribuída, ocasionando diversos impactos ambientais dentro da perspectiva intraurbana, tais como a impermeabilização e compactação do solo. A impermeabilização pode ser responsável por enchentes, além da diminuição da qualidade da água. (THOMAS; HENDRIX; CONGALTON, 2003). A compactação do solo pode ser responsável por minimizar a infiltração e fluxo subsuperficial da água (CHUI e TRINH, 2016; YANG e ZHANG, 2011).

Áreas construídas e solos densamente compactados ou impermeabilizados interferem na distribuição da vegetação. A vegetação intraurbana é importante pois aumenta a infiltração de água no solo minimizando o risco de enchentes, intercepta a parcela inicial da precipitação diminuindo a erosão dos solos e minimiza o escoamento superficial da água (PINTO et al., 2000).

Rocha et al. (2002) indicam que existe relação entre o fluxo de CO₂ e a fotossíntese da vegetação, demonstrando que, de forma sazonal, existe aumento de sequestro de carbono em estações úmidas e redução da atividade fotossintética em períodos de estiagem, devido à deficiência hídrica. Portanto, os estratos vegetativos de maior porte são mais resistentes a períodos de estiagem do que estratos vegetativos de menor porte, indicando que a vegetação se apresenta de maneira não uniforme à deficiência hídrica.

As imagens de satélites que possuem variedade multiespectral permitem que os padrões de reflectância dos dosséis possam ser minimamente diferenciados (SANO et al, 2019). Essa distinção é possível devido ao fato de os materiais das superfícies possuírem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, podendo ser identificados e conseqüentemente diferenciados (CRÓSTA, 1992). Portanto, infere-se ser possível identificar áreas componentes do ciclo hidrológico a partir da análise do sequestro sazonal do carbono pela vegetação utilizando-se de sensoriamento remoto.

Os autores Salles (2020) e Ataíde (2012), utilizam o Sensoriamento remoto como ferramenta na determinação de processos hidrológicos no bioma Cerrado utilizando dados do sensor MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer). Os estudos evidenciam que o sensoriamento remoto é uma ferramenta eficiente e com potencial temporal e espacial satisfatórios para estudos hidrológicos no bioma Cerrado.

Estudos da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico no campus Darcy Ribeiro são abordados por Britto (2020). A autora avalia a potencialidade de imagens multiespectrais Planet em identificar áreas componentes do ciclo hidrológico. O estudo analisa o comportamento da vegetação utilizando-se do índice de vegetação CO₂flux. Os valores de CO₂flux encontrados pela autora revelam a variação de

sequestro de carbono entre estação seca e chuvosa, e demonstram ser possível identificar os componentes do ciclo hidrológico no território do campus.

1.1 Objetivo

O presente estudo tem o objetivo de avaliar a potencialidade dos dados do satélite CBERS 4A para a identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico (interceptação, infiltração e escoamento superficial), no campus Darcy Ribeiro por meio da detecção dos efeitos da sazonalidade climática no comportamento da vegetação, utilizando modelos de sequestro de carbono a partir do índice CO₂flux (Rahman et al., 2000). Esse índice é o resultado da multiplicação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Rouse et al., 1973) e PRI (*Photochemical Reflectance Index*) (Gamon et al., 1993) que podem ser relacionados respectivamente com o sequestro de carbono e com taxas de fotossíntese. Para os cálculos dos índices NDVI, PRI e CO₂flux foram utilizadas 2 imagens do sensor WPM, com 2 metros de resolução espacial.

1.2 Estrutura

O presente estudo está estruturado em três partes, incluindo esta introdutória que trata dos aspectos gerais do trabalho e objetivo. A segunda parte aborda informações relativas ao ciclo hidrológico e seus componentes. Discorre também a respeito da utilização de imagens de satélite como alternativa aos métodos tradicionais de estudo no contexto da hidrologia e vegetação. A terceira parte aborda a potencialidade de identificação dos elementos do ciclo hidrológico por meio da análise sazonal do sequestro de carbono pela vegetação no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB). Esta parte inclui os resultados obtidos após aplicação da metodologia. A quarta e última parte apresenta as conclusões e considerações finais relacionadas ao estudo.

2. O ciclo hidrológico e seus componentes

O ciclo hidrológico é um fenômeno global que explica a movimentação cíclica da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, é diretamente influenciado pela radiação solar que incide na terra, pois faz com que a água dos oceanos e da superfície terrestre seja evaporada (TUCCI; CLARKE, 1997). É coordenado principalmente pela energia solar (evaporação de água), ventos (circulação do vapor d'água) e gravidade (chuva e movimentação de água no solo em gradientes topográficos). Pode sofrer diferentes níveis de interferências antrópicas e é essencial na manutenção da demanda de água do planeta (PINTO et al., 2000).

O ciclo hidrológico é dependente de diversos componentes, tais como precipitação, evaporação, transpiração, interceptação, infiltração e escoamento. A

vegetação também representa grande importância nas trocas de energia entre atmosfera e superfície e conseqüentemente nos fluxos de volume de água (PINTO et al., 2000). O presente trabalho foca nos componentes interceptação, infiltração e escoamento superficial.

Interceptação é um processo físico em que a precipitação é interceptada pela vegetação e em seguida fracionada e distribuída pelo dossel, estratos inferiores, tronco e serrapilheira. Parte da água que fica acumulada no dossel é evaporada para a atmosfera e o restante escorre pelo tronco até atingir a serrapilheira e o solo (CALUX; THOMAZ, 2013).

A interceptação da água da chuva pela vegetação tem participação fundamental nos processos hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos. Retarda o processo de escoamento superficial e diminui a força cinética das gotas de chuva, protegendo o solo contra erosões (PINTO et al., 2000). Esse processo é importante para a manutenção do fluxo hidrológico de bacias urbanas, pois reduz o montante de água a partir da barreira do dossel, diminuindo a quantidade de água que chega nos sistemas de esgoto e leitos de rios e lagos urbanos, conseqüentemente diminuindo os picos de vazão do sistema de drenagem (LIVESLEY; BAUDINETTE; GLOVER, 2014).

A precipitação ao chegar ao solo comporta-se de duas formas, dependendo do tipo e uso do solo local: pode infiltrar ou escoar superficialmente. (TUCCI; CLARKE, 1997). O escoamento é o movimento das águas na superfície do solo ou em camadas subsuperficiais (PINTO et al., 2000). A infiltração é o processo de penetração da água nas camadas superficiais do solo, obedecendo o movimento gravitacional em direção ao lençol freático. É o componente que possui a maior interferência antrópica devido a impermeabilização dos solos proveniente da urbanização (CHUI; TRINH, 2016).

2.1 Sensoriamento remoto para estudo do ciclo hidrológico em áreas urbanas

A urbanização promove a impermeabilização dos solos devido ao aumento constante de áreas construídas e pavimentadas. Também é responsável pela compactação de superfícies permeáveis, fazendo com que os solos urbanos se tornem mais lisos e menos porosos, diminuindo a quantidade de infiltração. A compactação excessiva do solo provoca redução da porosidade resultando na decomposição dos agregados e redução da quantidade de água do solo. Quando as alterações nas características do solo são grandes, é possível que ocorra aumento do pico de vazão de água após precipitações e alteração do fluxo dos corpos hídricos, conseqüentemente aumentando riscos de inundação e degradação (YANG; ZHANG, 2008. CHUI; TRINH, 2016).

Uma das ferramentas para a análise do desenvolvimento urbano e seus componentes é a utilização de imagens de satélite e sensoriamento remoto. As imagens de satélite nos possibilitam identificar o aumento da ocupação do solo e mudanças na

paisagem (BIAS, 2003). Já os sensores remotos registram a energia dos objetos por meio de medições da radiação eletromagnética. A partir desse registro é possível elaborar modelos que estimem a cobertura vegetal local em extratos vegetativos de grande, médio e pequeno porte e as áreas impermeabilizadas, consequentemente identificando os elementos do ciclo hidrológico. Para tanto, recomenda-se mediação de intérprete capaz de refinar os dados, tornando o resultado mais fidedigno (FLORENZANO, 2002; RUDORFF et al., 2004).

O CBERS 4A, sigla em inglês para *China-Brazil Earth Resources Satellite* (INPE, 2018) é o sexto satélite brasileiro desenvolvido em parceria com a China no Programa CBERS, no qual ambos os países possuem igual responsabilidade pelo satélite (INPE, 2019a). Foi lançado em dezembro de 2019 e seus dados foram disponibilizados ao grande público no final de julho de 2020. Opera em órbita sol-síncrona e quase circular, assegurando uniformidade de iluminação e regularidade na escala durante o imageamento. Também possui órbita recorrente, repete o ciclo a cada 31 dias (INPE, 2019b).

Dentre as câmeras usadas em estudos de monitoramento urbano, podemos destacar a WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura) que está a bordo do satélite CBERS 4A. A câmera WPM, de responsabilidade e fabricação chinesa, é indicada para estudos urbanos como o mapeamento de uso do solo e expansão urbanas (INPE,2019c).

O sensor WPM possui quatro bandas multiespectrais, cobrindo a região do visível e do infravermelho próximo, com 8 metros de resolução e uma banda pancromática com 2 metros de resolução. Apesar do satélite ser considerado de média resolução, a resolução de 2 metros é considerada alta quando comparada com outros sensores de satélites brasileiros que também possuem disponibilização gratuita de imagens. Esse é, portanto, um grande diferencial do sensor WPM, pois a alta resolução de imagens permite maior diferenciação de alvos no meio urbano (EMBRAPA, 2020). Além da alta resolução espacial, o sensor WPM também possui alta resolução radiométrica, pois possui 1.024 níveis de cinza. No quadro 1 podemos observar os intervalos das bandas do sensor WPM, sua resolução radiométrica e espacial (INPE,2019d).

Quadro 1 – Características do sensor WPM do satélite CBERS 4^a

	Bandas espectrais do sensor WPM				
	RED	GREEN	BLUE	NIR	PAN
Intervalos no espectro	0,63-0,69 μ m	0,52-0,59 μ m	0,45-0,52 μ m	0,77-0,89 μ m	0,45-0,90 μ m
Resolução espacial	8m	8m	8m	8m	2m
Quantização	10 bits				

Fonte: Autoria própria.

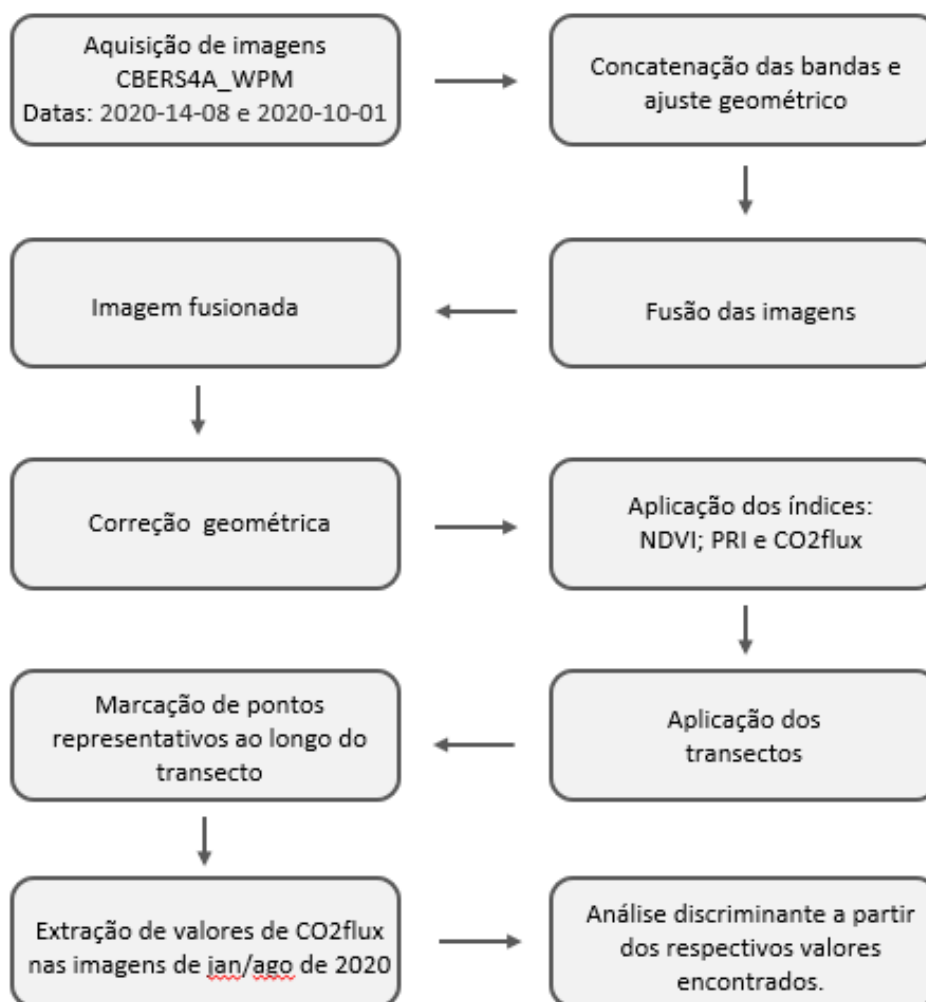
3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Campus Darcy Ribeiro, na Universidade de Brasília (UnB). A área está localizada na porção norte da cidade de Brasília, Distrito Federal, entre o bairro Asa Norte e o Lago Paranoá e possui elevação entre 1000m e 1050m em relação ao nível do mar (DISTRITO FEDERAL, 2020). Encontra-se no bioma Cerrado, com clima tropical de altitude. Possui, portanto, grande contraste sazonal, com duas estações bem definidas, divididas em uma época quente e chuvosa e outra seca e relativamente fria. Esse comportamento influencia fortemente a fenologia da vegetação (SOUZA ET AL., 2016).

O Campus Darcy Ribeiro é dividido em 3 glebas, denominadas A, B e C (FUB, 2016). O presente estudo contempla as glebas A e B, que somam área aproximada de 411,00 ha, obtida a partir do programa QGIS 3.10.

Para maior facilidade de compreensão da metodologia utilizada, as etapas de desenvolvimento da pesquisa são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxo das etapas da metodologia.

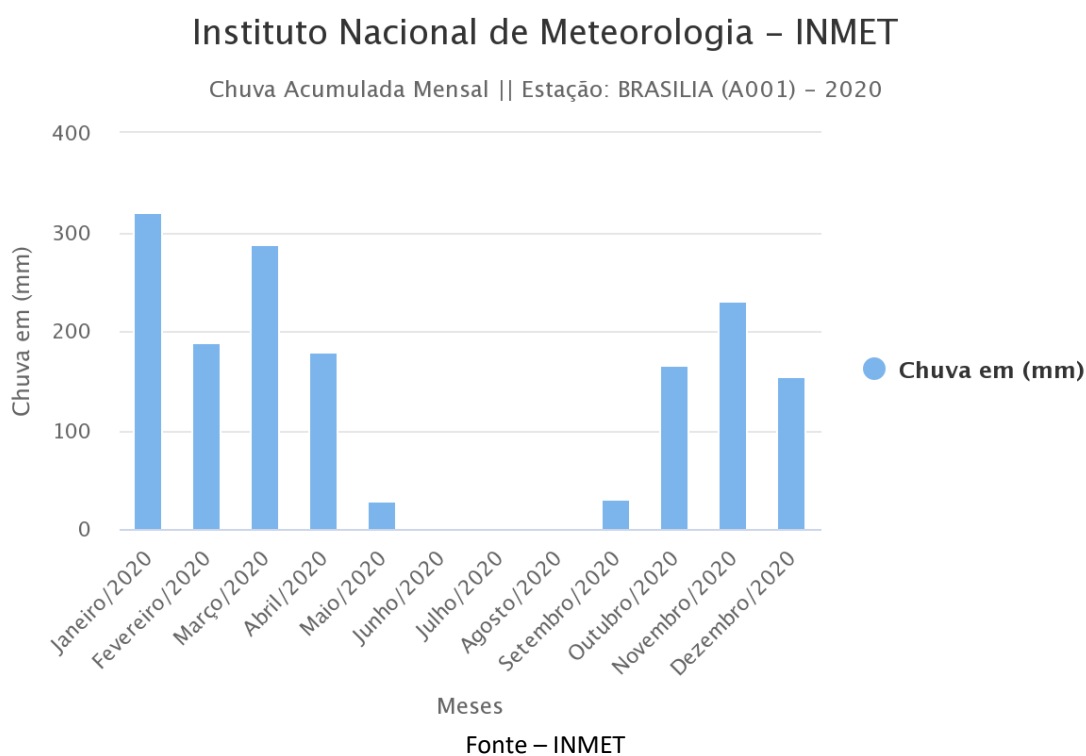


Fonte: Autoria própria.

As bases para o estudo e cálculo dos índices NDVI, PRI e CO₂flux foram formadas a partir de duas imagens do satélite CBERS 4A, sendo uma do dia 10 de janeiro de 2020, órbita 206 e ponto 133 e outra do dia 14 de agosto de 2020, órbita 203 e ponto 133, ambas obtidas pelo sensor WPM. As cenas selecionadas contemplam as áreas das glebas A e B do campus Darcy Ribeiro na UnB.

O critério utilizado na seleção das imagens foi a representação de diferentes estações do ano, para que o efeito sazonal ficasse evidente. Foram escolhidas duas imagens, uma do período seco (agosto) e uma do período chuvoso (janeiro) conforme representado na figura 2. Buscou-se também a obtenção de imagens com menor índice de nebulosidade dentre os dados disponíveis.

Figura 2 – Gráfico mensal de chuva acumulada para o ano de 2020



A coleta de dados foi realizada por meio do catálogo de imagens do INPE (INPE, 2020). As imagens do sensor WPM do satélite CBERS 4A selecionadas, possuem alta resolução espacial, com imagens multiespectrais com pixels de 8m de resolução e banda pancromática com pixels de 2m de resolução. Não foram necessários procedimentos de pré-processamento de correção radiométrica, no entanto foi necessário correção geométrica, apesar de ambas as imagens estarem georreferenciadas no sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, zona 23S (INPE, 2020). A imagem de agosto possui 0% de cobertura de nuvens, e a cobertura presente na imagem de janeiro não cobre a área do estudo.

3.1- Fusão das imagens

Para o procedimento de fusão das imagens foram utilizados os *softwares* QGIS 3.10 e Orfeo Toolbox. Primeiramente a imagem foi reduzida para contemplar apenas a porção norte da cidade de Brasília. Esse procedimento foi feito pelo *software* QGIS 3.10. A partir do *software* Orfeo Toolbox, da agência espacial francesa CNES (*Centre National d'études Spatiales*), foram realizados os procedimentos de concatenação, o ajuste geométrico dos dados multiespectrais para as dimensões do pancromático e a fusão, resultando em uma imagem multiespectral com resolução de 2 metros.

Antes do processo da fusão é preciso agrupar as bandas multiespectrais em um único arquivo. Esse processo de empilhamento dos dados é chamado de concatenação, e foi feito a partir do módulo *concatenate imagens*. Em seguida, é necessário fazer a reamostragem da imagem multiespectral para as dimensões da imagem pancromática. Esse processo é chamado de ajuste geométrico e foi feito pelo módulo *superimpose*. Finalmente é feita a integração da imagem multiespectral com a imagem pancromática, processo chamado de Fusão. Esse procedimento foi feito a partir da ferramenta *pansharpening*.

A técnica da fusão consiste na integração da imagem multiespectral com algum outro tipo de dado, podendo ser um dado geofísico ou uma outra imagem que contém diferentes informações, como por exemplo os dados da imagem da banda pancromática. Fazendo a fusão da imagem multiespectral com a imagem pancromática, obtém-se uma imagem que possui as propriedades das bandas multiespectrais integrada com a excelente resolução espacial da banda pancromática.

Existem diferentes técnicas de fusão, tais como Brovey, Gram-Schmidt (GS) e Contribuição Relativa Espectral (RCS). Para o presente trabalho foi utilizada a técnica RCS devido à sua fácil execução em softwares gratuitos e preservação da qualidade da cor na imagem final.

A técnica RCS consiste na combinação linear das bandas espectrais. Primeiramente a imagem multiespectral é ampliada e registrada para as dimensões da pancromática, resultando em imagem denominada de XS. Em seguida, o algoritmo de fusão RCS pixel-a-pixel é aplicado aos pixels registrados da imagem XS para obter os pixels fusionados. A equação é indicada abaixo:

$$(1) \text{RCS} = \text{PAN} / \text{PAN}_{\text{suavização}} * \text{XS}$$

Onde PAN é a imagem pancromática; XS é a imagem multiespectral ampliada; e $\text{PAN}_{\text{suavização}}$ é a imagem pancromática suavizada para se ajustar à escala da multiespectral (MHANGARA; MAPURISA; MUDAU, 2020).

Ao sobrepor uma cena na outra, observou-se que as imagens possuem um pequeno deslocamento entre si, portanto foi feito o registro imagem e imagem, utilizando o software TerraView, desenvolvido pelo INPE. O registro imagem e imagem é uma correção geométrica feita com objetivo de deixar as duas imagens espacialmente coincidentes, ou seja, superpostas corretamente. Esse registro foi feito utilizando a ferramenta “registro” do TerraView.

Vale ressaltar que a imagem do dia 14 de agosto de 2020 utilizada no presente trabalho apresenta problemas radiométricos em parte da cena. Esse problema é observado em algumas das imagens do CBERS 4A/sensor WPM disponibilizadas no catálogo de imagens do INPE. No entanto, a área da cidade de Brasília está fora da parte problemática.

3.2- Aplicação dos índices

Utilizando o programa QGIS 3.10 foi feita a delimitação das glebas A e B e criação do *shapefile* de forma manual seguindo o desenho dos mapas da Resolução do Conselho Diretor (FUB,2016), georreferenciados. O perímetro do *shapefile* foi refinado a partir da imagem de satélite. Nesse processo, utilizou-se a composição colorida RGB 321.

As duas imagens do satélite CBERS 4A dos dias 10 de janeiro de 2020 e 14 de agosto de 2020 foram recortadas pelo *shapefile* de delimitação das glebas A e B pela ferramenta “recortar *raster* pela camada de máscara” a partir do programa QGIS 3.10. Para as análises dos elementos do ciclo hidrológico (interceptação, infiltração e escoamento superficial) foram utilizados índices de vegetação que permitem a identificação dos diferentes tipos de cobertura vegetal, solo exposto, áreas construídas e pavimentadas.

Tendo as imagens dos meses de janeiro e agosto de 2020 delimitadas pelas glebas A e B, foram calculados os índices de vegetação NDVI, PRI, sPRI (valores de PRI reescalados) e CO2flux pela “calculadora *raster*” do QGIS 3.10. Rahman et al. (2000) propôs e validou o índice CO2flux, que é a integralização de dois índices que detectam aspectos diferentes da vegetação, o NDVI e sPRI.

O NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) (Rouse et al., 1973) quantifica o crescimento da vegetação, podendo variar de – 1 a 1, valores negativos ou próximos de 0 indicam solo exposto, água ou construções, e quanto maior o valor, mais representativa é a vegetação, sendo, portanto, um bom indicador de biomassa (Grohs et al., 2009), e é calculado pelas bandas do infravermelho próximo (*NIR*) e vermelha (*RED*), conforme equação (2):

$$(2) \text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}),$$

sendo:

NIR - B4: 0,77 - 0,89 μm

RED - B3: 0,63 - 0,69 μm

Já o PRI (índice de reflectância fotoquímica) (equação 3) é relacionado a função fotossintética, sendo um bom parâmetro de medida do uso eficiente da luz e para seu cálculo são utilizadas as bandas azul (*BLUE*) e verde (*GREEN*), e tem seu valor variando de - 1 a 1.

$$(3) PRI = (BLUE - GREEN) / (BLUE + GREEN),$$

sendo:

BLUE - B1: 0,45 - 0,52 μm

GREEN - B2: 0,52 - 0,59 μm

Porém é necessário reescalonar o PRI, gerando assim o sPRI (equação 4), para ser representado por valores positivos (de 0 a 1), dessa forma quanto mais próximo de 0 for o valor, indica-se que a eficiência do uso da luz fotossintética é baixa, enquanto valores mais próximos de 1 indicam alta eficiência (Rahman et al., 2000).

$$(4) sPRI = PRI + 1 / 2$$

E por fim, com os cálculos feitos de NDVI e sPRI é gerado o CO₂flux (equação 5), que é relacionado ao fluxo de CO₂ (Coltri et al., 2009) e mostra a eficiência do sequestro de carbono pelas plantas, sendo que valores negativos indicam a absorção de carbono pela superfície e positivos indicam perda de carbono para a atmosfera (Rahman et al., 2000).

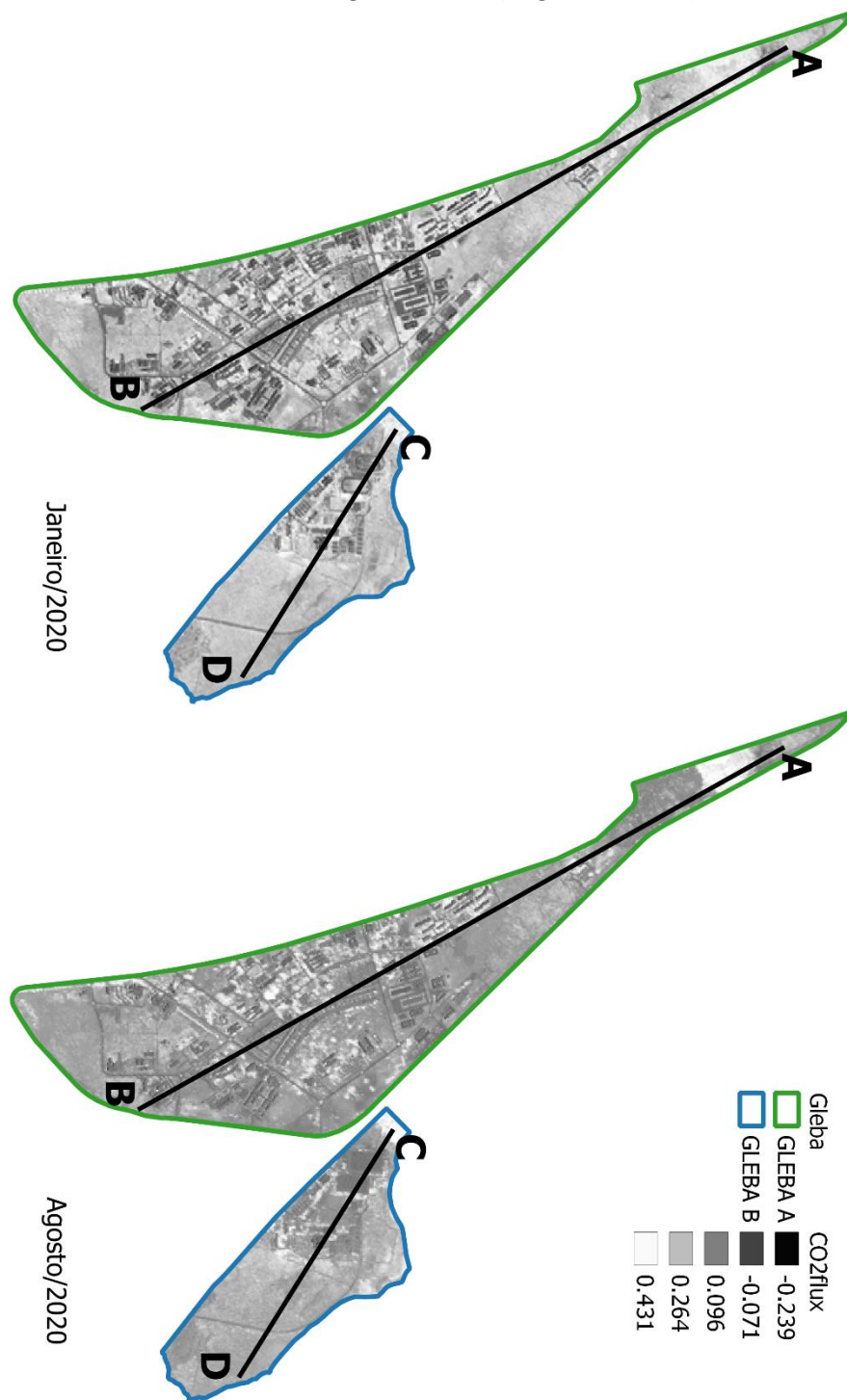
$$(5) CO_2flux = sPRI * NDVI$$

Os valores de CO₂flux analisados são dos alvos interceptados pelos transectos (figura 3) traçados a partir do critério de abrangência da maior variedade possível de alvos, entre eles: áreas construídas, solo exposto, vegetação herbácea e vegetação arbustiva e arbórea.

Foram feitos dois transectos (Figura 3) pelo QGIS 3.10, passando diagonalmente de norte a sul na gleba A (do ponto A ao B) e na gleba B (do ponto C ao D). Primeiramente foi criado o *shapefile* de linha, e para os valores obedecerem a ordem do transecto (de A a B; e C a D) a linha foi transformada em pontos pela ferramenta *convert lines to points* no provedor de algoritmos SAGA presente no QGIS 3.10 e em seguida foram inseridas as coordenadas de cada ponto pela calculadora de campo, podendo assim, serem ordenados de maior para menor latitude.

Para cruzar os dados de CO₂flux com os pontos, cada pixel da imagem *raster* foi transformado em polígonos pela ferramenta “pixels de *raster* para polígonos” mantendo seus respectivos valores. Posteriormente foi feita a interseção dos pontos dos transectos com os polígonos e geradas as tabelas de atributos com valores possíveis de serem plotados em gráficos com os valores de CO₂flux de cada pixel no transecto.

Figura 3 - Imagem dos meses de janeiro e agosto de 2020 com dados de CO₂flux e transectos da gleba A (A - B) e gleba B (C - D).



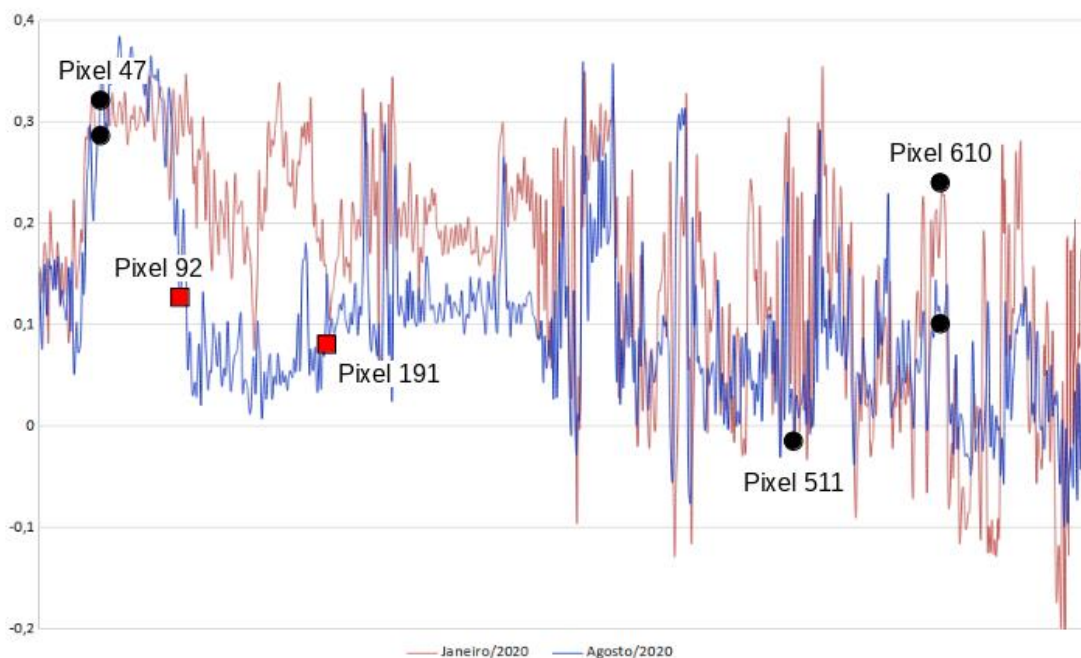
Fonte: Autoria própria.

Para atestar a funcionalidade dos índices foram selecionados alguns pontos ao longo dos transectos que representem alvos com comportamentos espectrais variados. Foram selecionados os pixels 47, 511 e 610 no transecto A e os pixels 232, 157 e 67 no transecto B, representando respectivamente vegetação arbórea, vegetação herbácea, área construída, solo exposto, vegetação herbácea natural e vegetação herbácea com interferência antrópica. Foi selecionada também uma área onde ocorreu incêndio florestal, indo do pixel 92 ao pixel 191.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem fusionada utilizando o método RCS produziu resultados satisfatórios, considerando seus aspectos visuais, sendo possível atestar os resultados dos transectos feitos nas Glebas A e B, apresentados nas figuras 4 e 8. A figura 4 apresenta os valores de CO₂flux ao longo do transecto referente à gleba A. Os pixels indicados são exemplos do comportamento de alvos selecionados. No gráfico são indicadas as suas respostas em valores de CO₂flux.

Figura 4 - Transecto da gleba A, no sentido A - B, dos valores de CO₂flux por pixel para janeiro e agosto de 2020.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se que os valores do CO₂flux possuem maiores variações em alvos de maior dependência hídrica, como é o caso da vegetação herbácea; e menor ou nenhuma variação em alvos de menor ou nenhuma dependência hídrica, como a vegetação arbustiva e arbórea e as áreas construídas. A diferença da resposta espectral da vegetação arbustiva e arbórea para as áreas construídas é que em áreas construídas os valores de CO₂flux são muito baixos e chegam a valores negativos e os valores de

CO₂flux para a vegetação arbustiva e arbórea são altos, e esses são locais de ocorrência de infiltração e interceptação da precipitação.

As áreas com vegetação herbácea são áreas com ocorrência de infiltração e possuem grandes variações de fluxo de CO₂ ao longo do ano. Em períodos de estiagem o processo de fotossíntese fica altamente prejudicado chegando ao ponto de ressecar a vegetação, e sua resposta para o CO₂flux se assemelha com a resposta de solo exposto.

Outro alvo que possui resposta espectral semelhante ao do solo exposto nos índices avaliados são as áreas construídas, apesar de serem compostos de materiais totalmente diferentes. Ambos os alvos possuem comportamento hidráulico semelhantes, pois são áreas nas quais ocorrem escoamento superficial e não infiltração da precipitação.

O pixel 47 (figura 5) representa área de vegetação densa, com presença de árvores e arbustos, pois apresenta altos valores de CO₂flux, 0,311 e 0,293 para janeiro e agosto de 2020 respectivamente, e pouca variação entre os períodos seco e chuvoso. Na área do pixel 47 existe um pequeno córrego onde as águas do Parque olhos d'água correm até desaguar no lago Paranoá. Por esse motivo a vegetação sofre muito pouco no período de estiagem, mantendo atividade fotossintética elevada e consequentemente seus valores de CO₂flux também elevados.

Figura 5 – Imagens correspondentes ao pixel 47 – Setor arboreto, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria.

Áreas com vegetação arbórea indicam áreas em que ocorrem interceptação da água da chuva e sua infiltração no solo. Em agosto há uma área onde ocorreu incêndio florestal, entre os pixels 92 e 191, no gráfico (figura 4) é possível notar os valores inferiores de CO₂flux devido a remoção de cobertura vegetal pela queimada. Na mesma

área em janeiro os valores de CO₂flux tem média de 0,239, enquanto em agosto a média é de 0,073, um valor bem menor se comparado com o pixel 47 que demonstra o comportamento esperado para a vegetação densa, comumente presente na região.

O pixel 610 (figura 6) indica área de vegetação herbácea, pois os valores de CO₂flux apresentam variação maior entre os períodos de estiagem e período chuvoso. Para o mês de janeiro e agosto os valores são de 0,239 e 0,103 respectivamente. Portanto, observa-se que a resposta espectral é diferente a depender do mês. O sequestro de carbono nesse ponto é menor nos períodos de seca, já que o processo de fotossíntese fica comprometido pela carência de água. Já nos períodos de chuva o verdor da vegetação aumenta, aumentando também o sequestro de carbono. A figura também destaca a vegetação seca na imagem de agosto.

Figura 6 – Imagens correspondentes ao pixel 610 – Setor Sul, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria.

A partir dos resultados para vegetação arbórea e arbustiva e vegetação herbácea é possível confirmar que estratos vegetativos de maior porte são mais resistentes a períodos de estiagem do que estratos vegetativos de menor porte. Essa confirmação indica que a vegetação se apresenta de maneira não uniforme à deficiência hídrica do solo.

O pixel 511 (figura 7) possui valores de CO₂flux negativos, de -0,003 e -0,007 para janeiro e agosto respectivamente. Valores negativos significam que não há atividade fotossintética e apresentam variação pequena entre as estações seca e chuvosa,

indicando que essa é uma área construída. Áreas construídas possuem pouca variação sazonal e baixos valores de CO₂flux. A figura 7 mostra o ICC – Instituto Central de Ciências, edificação principal do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.

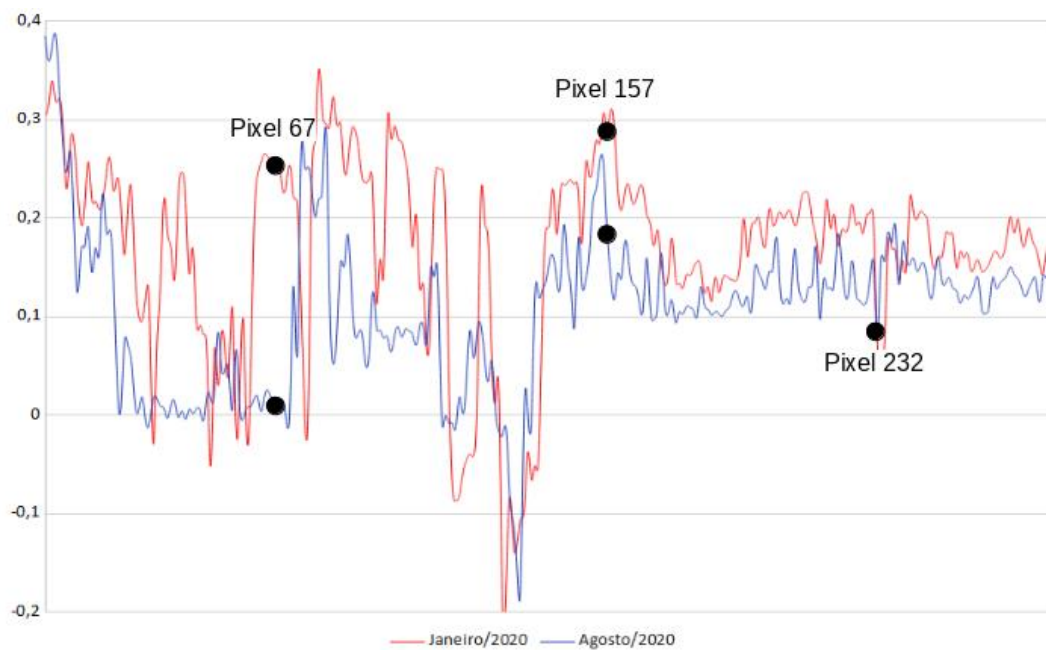
Figura 7 – Imagens correspondentes ao pixel 511 – Setor centro, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria.

A figura 8 apresenta os valores de CO₂flux ao longo do transecto referente à gleba B. Os pixels indicados na figura 8 são exemplos do comportamento de alvos que representam solo exposto, vegetação herbácea natural e vegetação herbácea com interferência antrópica. A escolha dos pontos 156, 237 e 67 obedeceu ao critério de representar alvos com diferentes comportamentos espectrais dos observados na gleba A (solo exposto) e com o objetivo de se fazer uma comparação do comportamento de alvos iguais (vegetação herbácea) que possuem ou não interferência antrópica.

Figura 8 – Transecto da gleba B, no sentido C - D, dos valores de CO₂flux por pixel para janeiro e agosto de 2020.



Fonte: Autoria própria.

Como dito anteriormente, o solo exposto e as áreas construídas possuem respostas espectrais semelhantes nos índices avaliados, reforçando a importância da mediação de intérprete no processo de análise dos dados. O pixel 232 (figura 9) apresenta baixos valores de CO₂flux, 0,071 e 0,082, para janeiro e agosto respectivamente, com variação pequena entre as estações seca e chuvosa indicando solo exposto ou pavimentado. A área em questão refere-se a uma pista que corta o Setor Península no Centro Olímpico (CO), portanto é uma área antropicamente modificada, com ocorrência de escoamento superficial.

Figura 9 – Imagens correspondentes ao pixel 232 – Setor península, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria.

O pixel 157 (figura 10) demonstra relevante variação sazonal com valores CO₂flux para janeiro e agosto de 0,292 e 0,186 respectivamente. A grande variação e altos valores em períodos chuvosos indica área com vegetação herbácea, variando a capacidade fotossintética da cobertura vegetal do período de chuva para o período de seca. Observa-se que essa é uma área que não possui interferência antrópica e a vegetação permanece fotossinteticamente ativa, apesar de reduzida, mesmo no período seco.

Figura 10 – Imagens correspondentes ao pixel 157 – Setor centro olímpico, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Autoria própria.

O pixel 67 (figura 11) possui grande variação sazonal, tendo valores de CO₂flux para janeiro de 0,228 e agosto 0,014, além disso no período de estiagem a capacidade fotossintética da área chega a quase zero, se assemelhando a resposta espectral de solo exposto. A área em questão é uma pista de atletismo construída do Centro Olímpico (CO) da UnB. Essa área vem sofrendo reforma desde meados de 2020, data próxima a aquisição da imagem de agosto. Em janeiro percebe-se uma área coberta por um gramado (vegetação de textura fina), apresentando considerável capacidade fotossintética. Após o início da reforma, a área passa a reduzir sua capacidade fotossintética à valores irrelevantes, ficando evidente a interferência antrópica no local.

Figura 11 – Imagens correspondentes ao pixel 67 – Setor centro olímpico, Campus Darcy Ribeiro/ UnB



Fonte: Aatoria própria.

Ao analisar os pixels 156 e 67 fica nítida a perturbação que a interferência antrópica causa nos componentes do ciclo hidrológico pois a resposta espectral de alvos iguais torna-se diferente devido às modificações resultantes da ação humana na paisagem. A interferência do homem no meio também é observada em áreas de solo exposto e áreas construídas (edificações, áreas pavimentadas e campos esportivos) pois essas são as áreas de menor ou nenhuma infiltração da água no solo e são os locais de ocorrências de escoamento superficial.

Assim como Salles (2020) e Ataíde (2012) o presente estudo confirma mais uma vez a eficiência do uso do sensoriamento remoto para estudos hidrológicos no Cerrado. Os valores de CO₂flux encontrados apresentaram o comportamento esperado. Sendo

assim, foi possível confirmar a potencialidade dos dados do satélite CBERS 4A/ sensor WPM para identificação do sequestro de carbono. Os valores de CO₂flux obtidos a partir dos transectos confirmam a variação de sequestro de carbono entre as estações seca e chuvosa.

A metodologia aplicada no presente estudo foi baseada na metodologia aplicada por Britto (2020) e os resultados obtidos são semelhantes. Ambos obtêm respostas satisfatórias na identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico. O diferencial dos dados aqui utilizados é a resolução espacial mais alta, 2 metros de resolução do sensor WPM/CBERS 4A comparados com 3 metros de resolução do Planetscope e 1km de resolução do MODIS (dados utilizados por Salles (2020) e Ataíde (2012)), possibilitando visualização mais clara dos alvos de forma a atestar os resultados sem a necessidade de estudo in loco. Além disso, os dados CBERS 4A/sensor WPM são obtidos de forma gratuita.

Os resultados apresentados contribuem para futuros estudos urbanos que necessitem de boa visualização e clareza de alvos. Também apresentam alternativas de aquisição de dados, aplicação de índices e realização de análises gratuitamente. Uma vez que foi feito uso exclusivo de softwares livres.

5- CONCLUSÃO

Com base na análise realizada a partir do índice CO₂flux e os resultados apresentados, foram obtidas respostas satisfatórias ao avaliar as interferências antrópicas nos componentes do ciclo hidrológico, de forma a identificar as áreas construídas e solo exposto além das áreas de ocorrência de interceptação, infiltração e escoamento superficial ao longo do transecto, considerando a variação sazonal. Conclui-se, portanto, que os valores de CO₂flux encontrados, apresentaram o comportamento esperado. Sendo possível confirmar a potencialidade e eficiência dos dados do satélite CBERS 4A/sensor WPM para identificação dos componentes do ciclo hidrológico.

Conclui-se que os índices aqui utilizados são eficazes e apropriados para estudos de elementos do ciclo hidrológico e estudos de vegetação urbana. Ressalta-se que a modelagem de sequestro de carbono mostra indiretamente as interferências antrópicas nos elementos do ciclo hidrológico. As informações aqui descritas servem como contribuição para estudos com o objetivo de identificação dos componentes do ciclo hidrológico no contexto urbano por meio do sensoriamento remoto, de forma acessível.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta eficiente e com potencial temporal e espacial satisfatórios para estudos urbanos e hidrológicos, contribuindo para o monitoramento e atualização das modificações ocorridas no espaço. A partir de imagens de satélites juntamente aos índices de vegetação é possível verificar o comportamento da vegetação que influencia no ciclo hidrológico, afetando sua qualidade e sua disponibilidade para usos múltiplos em ambientes urbanos.

O campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília é um espaço urbano que está em constante modificação e alteração advindos do crescimento demográfico e espacial. Portanto, os resultados de análises de imagens de satélite podem ser diferentes dependendo da data de aquisição. Nesse sentido, as variáveis climáticas e características locais devem ser levadas em consideração.

REFERÊNCIAS

ATAÍDE, Kleber Renato da Paixão. **Modelagem de determinação da evapotranspiração real para o bioma cerrado por meio de dados de sensoriamento remoto orbital**. 2012. xvi, 176 f., il. Tese (Doutorado em Geociências)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

BRITTO, D. M. **Potencialidade dos dados PlanetScope para a identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico no campus Darcy Ribeiro**. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

CALUX, Jucelmo; THOMAZ, Edivaldo Lopes. **Interceptação e precipitação interna: comparação entre floresta ombrófila mista pinus**. Geoambiente On-line, [s.l.], n. 19, p.01-16, 3 jan. 2013. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i19.26049>.

CHUI, Ting Fong May; TRINH, Dieu Huong. **Modelling infiltration enhancement in a tropical urban catchment for improved stormwater management**. Hydrological Processes, [s.l.], p.4405-4419, 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.10926>.

CRÓSTA, Álvaro Penteado. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, São Paulo: Unicamp, 1992. 170 p.

BIAS, Edilson de Souza. **Vantagens e Limitações das Imagens de Alta Resolução como suporte ao Planejamento Urbano: O Exemplo de Sobradinho – Distrito Federal**. 2003. 298 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

DISTRITO FEDERAL. **Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação - SEDUH**. Mapeamento SICAD - CHUÁ. Disponível em: <http://www.seduh.df.gov.br/mapas-2/>. Acesso em 20 mar. 2021.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Resolução do Conselho Diretor n.0007/2016, de 6 de abril de 2016**. Institui a setorização e as diretrizes de uso do solo do território do Campus Universitário Darcy Ribeiro e dá outras providências. Disponível em: http://www.ceplan.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=1&Itemid=682. Acesso em: 10 mar. 2021

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Plano de desenvolvimento físico**. 1975. Disponível em: http://www.ceplan.unb.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=1&Itemid=682. Acesso em: 10 mar. 2021.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de imagens orbitais digitais do satélite CBERS 4A**. Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2020. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

INPE - INSTITUTO NACIONAL de PESQUISAS ESPACIAIS. **História**. Inpe, 2018. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/historia.php>. Acesso em: 25 mar. 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL de PESQUISAS ESPACIAIS. **CBERS 4A**. Inpe, 2019a. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cbbers04a.php>. Acesso em: 25 mar. 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL de PESQUISAS ESPACIAIS. **Órbita do CBERS 4A**. Inpe, 2019b. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/orbita/cbbers04a.php>. Acesso em: 25 mar. 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL de PESQUISAS ESPACIAIS. **Usos e aplicações**. Inpe, 2019c. Disponível em: http://www.cbbers.inpe.br/sobre/usos_aplicacoes.php. Acesso em: 25 mar. 2021.

LIVESLEY, S.j.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. **Rainfall interception and stemflow by eucalypt street trees – The impacts of canopy density and bark type**. Urban Forestry & Urban Greening, [s.l.], v. 13, n. 1, p.192-197, 2014. Elsevier BV.

MHANGARA,P.; MAPURISA,W.; MUDAU,N. Comparison of image fusion techniques using *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT) 6 satellite imagery. **Applied Science**. v.10, n.5, p.1881. 2020. doi:10.3390/app10051881 Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/5/1881/htm> Acesso em: 20 abr. 2021

PINTO, N.L. de S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.J. e GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia Básica**. Ed. Rio de Janeiro: Editora Edgar Blucher., 2000.

RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor; BERKA, Luciana Miura Sugawara; MOREIRA, Maurício Alves; DUARTE, Valdete; ROSA, Viviane Gomes Cardoso. **Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento: ano 2004-2005**. São José dos Campos-SP. INPE, 2004.

SALLES, L.A.S. Sensoriamento remoto e análise espacial na determinação de processos hidrológicos no bioma Cerrado. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas e Geodinâmica) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SANO, E. E., Ponzoni, F. G., BAPTISTA, G. M. M., TONIOL, A. C., GALVÃO, L. S. & ROCHA, W. J. S. F. (2019). **Reflectância da Vegetação**. In: MENESES, Paulo Roberto et al. Reflectância dos Materiais Terrestres. Brasília: Oficina de Textos. Cap. 6. p. 189-223.

SOUZA, G. M. DE, GURGEL, H. C. DA, e CIAMP, P. M. **Análise Sazonal Da Vegetação Do Cerrado Por Meio De Dados Do Sensor Modis No Distrito Federal**. Boletim Goiano de Geografia, 36(3), 502. 2016. <https://doi.org/10.5216/bgg.v36i3.44555>

TUCCI, Carlos; CLARKE, Robin. **Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [s.l.], v. 2, n. 1, p.135-152, 1997. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v2n1.p135-152>.

THOMAS, Nancy; HENDRIX, Chad; CONGALTON, Russell G. A Comparison of Urban Mapping Methods Using High-Resolution Digital Imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, [s.l.], v. 69, n. 9, p.963-972, 1 set. 2003. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <http://dx.doi.org/10.14358/pers.69.9.963>.

YANG, Jin-ling; ZHANG, Gan-lin. Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff. Journal of Soils and Sediments, [s.l.], v. 11, n. 5, p.751-761, 7 abr. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-011-0356-1>.

ROCHA, H. R. da, Freitas, H. C., Rosolem, R., Juárez, R. I. N., Tannus, R. N., Ligo, M. A., Cabral, O. M. R., & Dias, M. A. F. S. (2002). Measurements of CO2 exchange over a woodland savanna

(Cerrado *Sensu stricto*) in southeast Brasil. *Biota Neotropica*, 2(1), 1–11.
<https://doi.org/10.1590/s1676-06032002000100009>.

RAHMAN, A., GAMON, J., FUENTES, D., ROBERTS, D., PRENTISS, D., & QIU, H. Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, California., 8p. 2000.

GROHS, D. S. et al. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. *Eng. Agric*, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.

COLTRI, P. P.; RAMIREZ, G.M.; WALTER, M.K.C.; JUNIOR, J.Z.; PINTO, H.S.; NASCIMENTO, C.R.; GONÇALVES, R.R.V. Utilização de índices de Vegetação para Estimativas não Destrutivas da Biomassa, Estoque e Sequestro de Carbono no Cafeeiro Arábica. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, Natal, INPE, p. 121-128, 2009.

Gamon JA, Filella I, Penuelas J. 1993. The dynamic 531-nanometer delta reflectance signal: a survey of twenty angiosperm species. In: Yamamoto HY, Smith CM, eds. *Photosynthetic responses to the environment*. Rockville, MD, USA: American Society of Plant Physiologists, 172–177