



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS CORRENTE
CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL**

LUANA DE CASTRO PEREIRA

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ DO PARQUE
NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA**

CORRENTE (PI)

2019

LUANA DE CASTRO PEREIRA

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ DO PARQUE
NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Tecnologia em Gestão
Ambiental do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Corrente.

Orientador: Prof. Dr. Bruna de Freitas Iwata.
Coorientador: Prof. Arnon Batista Nunes.

CORRENTE (PI)

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Pereira, Luana de Castro

P436i Índices de vegetação e estimativa do fluxo de CO₂ do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba / Luana de Castro Pereira. - 2019.
31 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Corrente, 2019.

Orientadora: Prof.^a. Esp. Bruna de Freitas Iwata

Co orientadora: Prof.^a. Esp. Arnon Batista Nunes

1. Gestão Ambiental – estudo e ensino. 2. CO₂. 3. Biomassa 4.
Pereira, Luana de Castro. I.Título.

CDD - 577

Elaborado por Tefischer Huanderson Soares e Sousa CRB3/1251

LUANA DE CASTRO PEREIRA

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ DO PARQUE
NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Tecnologia em Gestão
Ambiental do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Corrente.

Aprovada em: ____/__/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruna de Freitas Iwata (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Me. Arnon Batista Nunes (Co-Orientador)

Profa. Esp. Marcília Martins da Silva
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Me. Israel Lobato Rocha
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Janeil Lustosa de Oliveira
Instituto Chico Mendes de Biodiversidade - ICMBio

Aos meus pais, João Luis e Irene Barreira por todo apoio e incentivo dado a mim. Aos meus irmãos, Lorrane, Palane e André Luis, por todo apoio e companheirismo. A minha Orientadora, Bruna de Freitas Iwata por toda dedicação e compreensão ao meu Coorientador Arnon Nunes pelo apoio e amizade e aos meus amigos e familiares.

Dedico a Vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder o dom da vida e está sempre presente me dando forças para enfrentar as batalhas que surgiram durante essa jornada, me guiando sempre com muito amor.

Aos meus pais, João Luis Pereira da Silva e Irene Barreira de Castro por todo amor, compreensão e valores transmitidos, por serem minha fortaleza, fonte de carinho e inspiração.

A minha família, em especial os meus irmãos, Lorrane, Palane e André pelo apoio que me deram nessa jornada, por me acompanharem sempre e compartilharem comigo momentos inesquecíveis.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, *Campus Corrente*, pela oportunidade e gozo da realização da Graduação. E ao quadro de professores que foram grandes colaboradores em minha formação acadêmica, em especial Israel Lobato Rocha coordenador do curso e um pai de coração, por todo incentivo e motivação.

Em especial a minha inoxidável Orientadora e mãe de coração a Professora Doutora Bruna de Freitas Iwata por todo ensinamento, carinho, dedicação e paciência em compartilhar os ensinamentos e experiências.

Ao meu Coorientador e amigo Arnon Batista Nunes por todo ensinamento, paciência e acréscimo na minha pesquisa.

As minhas amigas, Raiane Oliveira, Patrine Nunes, Cecília Carvalho, Luzirany Soares e Estefani Barros por terem sido minhas fieis companheiras sempre me apoiando e me dando o suporte que eu precisava e ao meu amigo Richardsson, parceiro de pesquisas.

A todos vocês o Meu Muito Obrigado!

Toda ação humana, quer se torne positiva ou negativa, precisa depender de
motivação.

(Dalai Lama).

RESUMO

As emissões dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera trazem significativas consequências para o meio ambiente e saúde pública. As ações antrópicas e às atividades industriais, que são as principais fontes de emissões dos GEEs trazem consequências importantes para o clima, o biomassa cerrado contribui bastante para essas emissões. A aplicação de dados obtidos a partir da aplicação do sensoriamento remoto é de grande relevância para o monitoramento da cobertura vegetal, por meio dos índices de vegetação. O estudo foi realizado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, possuindo aproximadamente uma área territorial de 749.774,18 hectares, a sua fitofisionomia pertence ao bioma Cerrado com diferentes aspectos. Para a realização da pesquisa, utilizou-se dos seguintes índices: Pré Processamento das Imagens (PPI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, Índice de Vegetação Fotossintético – PRI, Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI, Índice de Área Foliar- IAF e CO2FLUX. Em relação ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), verificou-se que a maior parte da área PNNRP se encontram com uma vegetação considerada densa, os valores de SAVI encontrados foram próximos aos valores de NDVI, que pode estar relacionado ao fato da área ter uma boa cobertura vegetal, podendo ser considerada pouca influência das características do solo sob os índices de vegetação. A partir dos resultados encontrados através do IAF do PNNRP verificou que em áreas que os valores são maiores encontram-se as vegetações com o melhor desenvolvimento. Levando em conta os valores relacionados ao CO2Flux, IAF, NDVI e os demais índices, percebeu-se a capacidade do Parque no aproveitamento da luz solar e a realização da fotossíntese, além de abrigar uma vegetação saudável, podendo assim afirmar o grande potencial do PNNRP em armazenar carbono. Portanto, conclui-se que o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba possui um alto potencial de fluxo de carbono.

Palavras-chave: Biomassa. Cerrado. MDL.

ABSTRACT

Emissions of greenhouse gases (GHGs) into the atmosphere bring significant consequences for the environment and public health. Anthropogenic actions and industrial activities, which are the main sources of GHG emissions, have important consequences for the climate. Closed biomass contributes greatly to these emissions. The application of data obtained from the application of remote sensing is of great relevance for the monitoring of the vegetation cover, through vegetation indexes. The study was carried out in the Parnaíba River National Park, with a territorial area of 749,774.18 hectares. Its phytophysiology belongs to the Cerrado biome with different aspects. In order to perform the research, the following indexes were used: Pre-Image Processing (PPI), Normalized Difference Vegetation Index - NDVI, Photosynthetic Vegetation Index - PRI, Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI, Foliar Area Index - IAF and CO₂FLUX. Regarding the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), it was verified that most of the PNNRP area is found with a dense vegetation, the values of SAVI found were close to the NDVI values, which may be related to the fact that area with a good vegetation cover, and it can be considered little influence of the soil characteristics under vegetation indexes. From the results found through the IAF of the PNNRP verified that in areas with higher values are the vegetation with the best development. Taking into account the values related to CO₂Flux, IAF, NDVI and other indexes, the Park's capacity to use sunlight and photosynthesis was observed, as well as to house healthy vegetation, thus confirming the great potential of PNNRP in storing carbon. Therefore, it is concluded that the Parnaíba River National Park has a high carbon flow potential.

Keywords: Biomass. Thick. MDL.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fluxograma 1	- Índices de vegetação.....	18
Mapa 2	- Mapa de NDVI do PNNRP.....	21
Mapa 3	- Mapa de SAVI do PNNRP.....	23
Mapa 4	- Mapa de sPRI do PNNRP	24
Mapa 5	- Mapa de IAF do PNNRP.....	25
Mapa 6	- Mapa de CO ₂ Flux do PNNRP	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Característica</i>	<i>das</i>	<i>bandas</i>	<i>do</i>	<i>Landsat</i>	
8.....					17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO ₂ Flux	Fluxo de Carbono
GEEs	Gases de Efeito Estufa
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PNNRP	Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba
PRI	Índice de Vegetação Fotossintético
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
TOA	Topo da Atmosfera

LISTA DE SÍMBOLOS

CO₂ Dióxido de Carbono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1	Área de estudo	15
2.2	Procedimentos Metodológicos	17
<i>2.2.1</i>	<i>Análise dos dados</i>	<i>17</i>
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
	REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

As emissões dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera trazem significativas consequências para o meio ambiente e a saúde pública. As ações antrópicas como, por exemplo, às mudanças de uso da terra, à queima de combustíveis fósseis e às atividades industriais, que são as principais fontes de emissões dos GEEs trazem consequências importantes para o clima (COTTA, 2008).

O bioma Cerrado é considerado como uma das maiores fronteiras agrícolas do Brasil e, em se tratando das mudanças do uso da terra, no bioma ocorrem alterações da vegetação natural, através do corte e da queima, para o cultivo no solo, contendo grande parte da área do bioma modificada (NETO, 2011). O bioma Cerrado tem grande extensão no Brasil e abriga uma grande diversidade biológica, entretanto o bioma sofre com diversos impactos ambientais como queimadas e desmatamento que põe em risco a existência do bioma, além de contribuir para as emissões de CO₂.

Além da importância biológica do bioma e apesar dos impactos sofridos, o Cerrado possui grande importância no sequestro de carbono, as suas fitofisionomias são consideradas de alta capacidade nesse processo, no entanto, devido às diferentes situações que o bioma é exposto, como o clima e as frequentes queimadas, a quantidade de biomassa aérea é inferior à subterrânea (LOPES, 2016).

Embora conhecidos os papéis das florestas de Cerrado, ainda há necessidade de levantamentos aperfeiçoados e detalhados sobre cada região. Uma das formas de se conhecer as suas diferentes formações florestais, principalmente as de difícil acesso, são por meio da aplicação dos índices de vegetação, que são obtidos através de imagens de sensoriamento remoto. A aplicação de dados obtidos a partir da aplicação do sensoriamento remoto é de grande relevância para o monitoramento da cobertura vegetal, por meio dos índices de vegetação. Dois índices importantes aplicados são, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Fotossintético (PRI), que por meio deles gera o índice de CO₂FLUX responsável por mensurar a capacidade do sequestro de carbono das florestas (BRAZ, 2015).

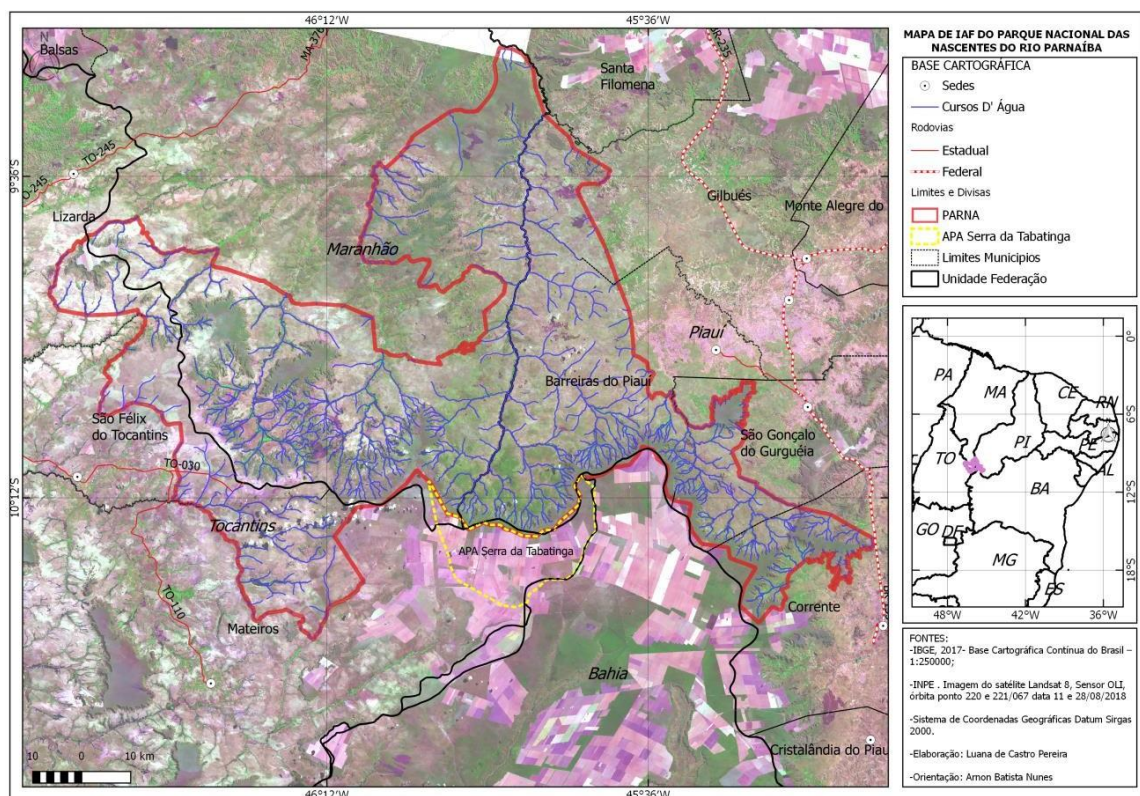
Neste contexto, o objetivo deste estudo foi estimar o fluxo de CO₂ com base em diferentes índices de vegetação do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (PNNRP).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (Mapa 1), que mesmo possui aproximadamente uma área territorial de 749.774,18 hectares e abrange alguns municípios da Bahia (Formosa do Rio Preto), Tocantins (Lizarda, Mateiros, São Félix do Tocantins), Maranhão (Alto Parnaíba) e Piauí (Barreiras do Piauí, Corrente, Gilbués, São Gonçalo do Gurgueia). A vegetação é complexa e diversificada, a sua fitofisionomia pertence ao bioma Cerrado com diferentes aspectos. O Cerrado Sensu Stricto e o Cerradão são predominantes e a vegetação chega a 12 metros (ICMBIO, 2013).

Mapa 1: Localização Geográfica do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba



Fonte: Autores, 2019 (Adaptado de-IBGE, (2017); ICMBIO, (2019)).

O PNNRP é caracterizado por um clima Tropical semiúmido, com duas estações climáticas bem definidas: período seco, que vai de maio a novembro e o outro chuvoso, que vai de dezembro a abril, aproximadamente, sendo os meses de agosto a outubro os mais críticos em relação à seca e aos focos de incêndio. Os totais pluviométricos anuais ficam entre 750 e 1400 mm e a temperatura média anual é de 26° C (MMA, 2007).

O Parque está localizado no divisor de três grandes bacias: Bacia do Rio Parnaíba, Bacia do Rio São Francisco e da Bacia do Rio Tocantins. Sua hidrografia é muito densa, composta de nascentes e cursos d'água, sendo uma das principais nascentes as do Rio Água Quente e Rio Curriola, que ao se unirem formam o Rio Parnaíba, cujo leito funciona como divisor entre os estados do Piauí e do Maranhão. Ainda destacam-se as nascentes dos rios: Uruçuí-Vermelho, Gurguéia, Riozinho, Parnaibinha, entre outros, os quais abastecem a Bacia do Rio Parnaíba (MMA, 2007).

A região se enquadra nos domínios dos Chapadões Tropicais compostos por vastas superfícies de aplainamento. Distinguem-se dois grandes segmentos, sendo eles, parte alta, superfícies de platôs, localizada na Chapada das Mangabeiras, com altitudes médias de 800 metros, que em decorrência da ausência de drenagem superficial, não há formações de vales e o relevo apresenta-se plano e monótono. E a parte baixa, formada pelo processo erosivo da Chapada das Mangabeiras, originando a Serra da Tabatinga, sua altitude média é de 400 metros e corresponde à maior porção do Parque. Nesta região localizam-se as nascentes (formadas a partir de ressurgências na Chapada das Mangabeiras) e veredas, marcadas pela grande presença de brejos, tributários dos principais rios protegidos pelo Parque (MMA, 2007).

No parque ocorrem formações campestres sazonais, principalmente na região próxima ao Jalapão, porção sudoeste da Unidade, a mesma apresenta também área de contato e tensão ecológica entre o cerrado e a caatinga, apresentando áreas com predominância de espécies típicas do bioma. Na parte baixa, é notável a presença de matas de galeria associadas aos cursos d'água, formando as veredas (MMA, 2007).

Na parte baixa do parque, o solo em geral é arenoso, apresentando-se com baixa fertilidade, exceto próximo às veredas. Na porção alta predomina solo areno-

argiloso, atrativo para as grandes culturas, encontram-se ainda afloramentos rochosos nas escarpas das serras e montanhas (MMA, 2007).

2.2. Procedimentos metodológicos

2.3. Características Espectrais das Imagens

Foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 8, Sensor OLI, no qual o mesmo possui resolução espacial de 30m. As cenas escolhidas foram das datas de 11 de agosto do ano 2018, órbita ponto 221/067 e 28 de agosto de 2018, órbita ponto 220/067, das bandas espectrais 2, 3, 4 e 5 (Tabela 1), as mesmas foram escolhidas pela baixa nebulosidade apresentada garantindo a qualidade da imagem, cujos dados encontram-se disponibilizados, gratuitamente, no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Tabela 1 - Característica das bandas do Landsat 8.

<i>Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) e sensor de infravermelho térmico (TIRS)</i>	<i>Bandas</i>	<i>Comprimento de onda (micrômetros)</i>	<i>Resolução (metros)</i>
	Banda 2 – Azul	0,45 - 0,51	30
	Banda 3 – Verde	0,53 - 0,59	30
	Banda 4 – Vermelho	0,64 - 0,67	30
	Banda 5 - <i>Near Infrared (NIR)</i>	0,85 - 0,88	30

Fonte: USGS (2017).

2.4. Pré Processamento das Imagens- Correção Atmosférica

As bandas do instrumento OLI, foram convertidas para o topo da atmosfera (TOA), em radiância espectral, usando os elementos de brilho redimensionado fornecidos no arquivo de metadados, registrado na Equação 1. Seguindo a metodologia proposta por Manzato (2017).

Equação 1:

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL$$

Onde:

$L\lambda$ =TOA radiância espectral ($W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$);

ML=banda específica fator redimensionado multiplicador a partir dos metadados Radiância_Mult_Banda_L, onde L é o número da banda;

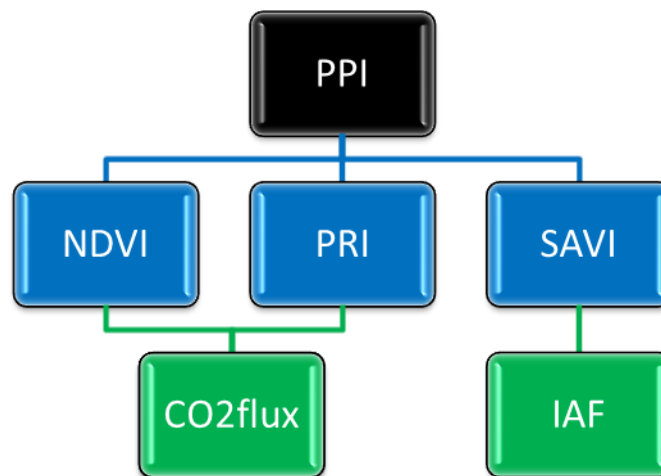
AL= banda específica fator escalonado aditivo a partir de metadados da Radiância_Add_Banda_L, onde L é o número da banda;

Qcal=produto quantificado e calibrado padrão em valores de pixel (ND).

2.5. Índices de Vegetação

Os índices de vegetação estão associados com parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de reflectância da vegetação (PONZONI, 2012). Para a realização da pesquisa, utilizou-se dos seguintes índices: Pré Processamento das Imagens (PPI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, Índice de Vegetação Fotossintético – PRI, Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI, Índice de Área Foliar- IAF e CO₂FLUX.

Fluxograma 1: Índices de vegetação.



Fonte: Autora, 2019

2.6. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

O NDVI baseia-se na alta absorção da clorofila que é constatada na região espectral do vermelho e na alta reflectância esclarecida pela estrutura interna das folhas na região do infravermelho próximo. Rouse *et al* (1973) desenvolveram um estudo onde normalizaram a relação de -1 a +1, usualmente os índices para vegetações saudáveis considerados são os que variam de 0,2 a 0,8. Considerado na equação 2:

Equação 2:

$$\text{NDVI} = (\text{Pivp} - \text{Pv}) / (\text{Pivp} + \text{Pv})$$

Onde:

Pivp= FRB no infravermelho Próximo;

Pv= FRB no vermelho.

2.7. Índice de Vegetação Fotossintético – PRI-sPRI

O índice PRI varia com a capacidade fotossintética, uso de radiação eficiente e tipo de vegetação. O índice SPRI tem o mesmo significado do PRI, mas passa a ser verificado em uma escala que varia de 0 a 1 para que possa ficar na mesma escala que o NDVI (COLTRI, 2009). Sendo expressos nas equações 3 e 4:

Equação 3:

$$\text{PRI} = (\text{Rgreen} - \text{Rblue}) / (\text{Rgreen} + \text{Rblue})$$

Equação 4:

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

Onde:

R é Valor de Reflectância no comprimento de onda das bandas do verde (GREEN) e azul (BLUE).

2.8. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI

Segundo estudos de Huete, Jackson e Post (1985), identificaram a influência das características do solo sob os índices de vegetação, onde se percebeu a sensibilidade desses índices em relação ao material de fundo. O índice SAVI foi proposto por Huete (1988) para minimizar os efeitos de fundo (solo), sob o sinal da vegetação, por meio de uma constante L de ajuste do solo. Considera-se a equação 5:

Equação 5:

$$\text{SAVI} = [(\text{Pivp} - \text{Pv}) / (\text{Pivp} + \text{Pv} + \text{L})] * (1 + \text{L})$$

Onde:

L= Constante que minimiza o efeito do solo e pode variar de 0 a 1.

De acordo Huete (1988), os valores ótimos de L são:

L= 1 (para densidades baixas de vegetação);

L= 0.5 (densidades médias);

L= 0,25 (densidades altas).

Para esse estudo foi considerada a constante L=0.5, por se tratar de uma vegetação de densidades médias.

2.9. Índice de Área Foliar- IAF

O IAF é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação (MANZATO, 2017). Descrito na equação 6:

Equação 6:

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}$$

2.10. CO2FLUX

Para a determinação do Co₂flux, integrou-se o sPRI que se correlaciona com as taxas de fotossíntese e o NDVI correlacionado com o sequestro de carbono (MANZATO, 2017). Expresso na equação 7:

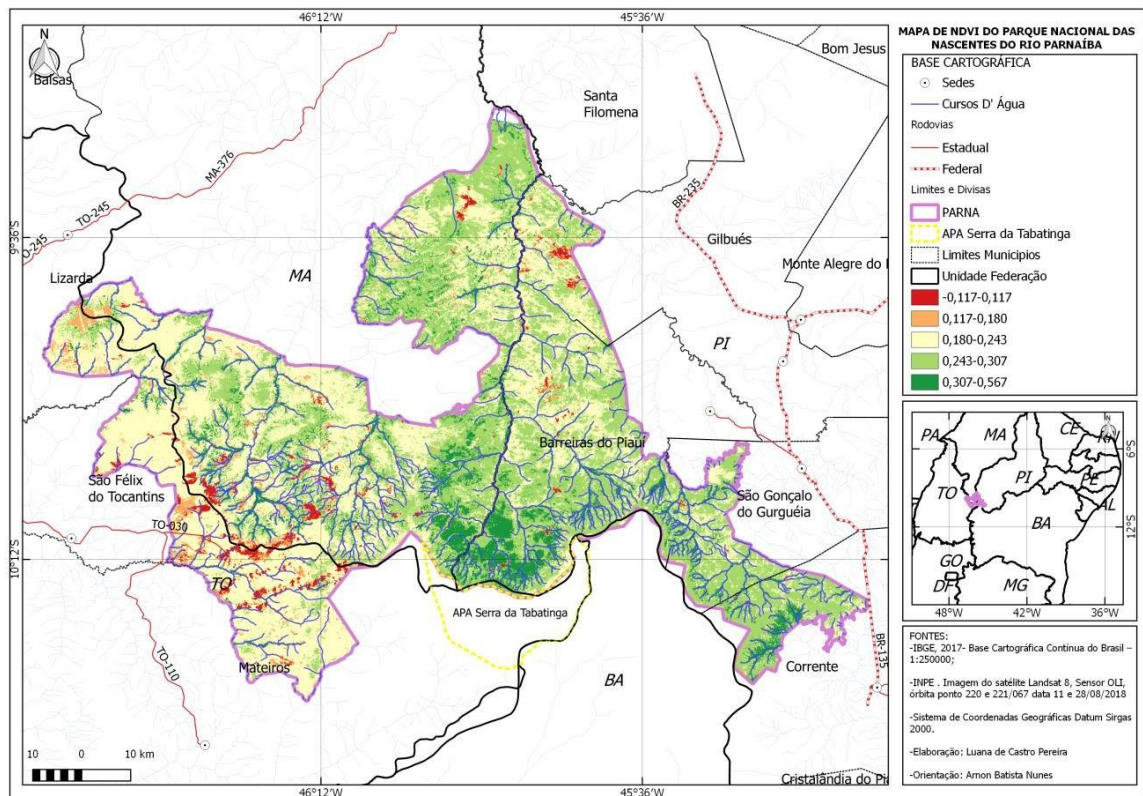
Equação 7:

$$CO_{2flux} = (NDVI \times sPRI)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo verificou que em relação ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), verificou-se que a maior parte da área PNNRP se encontram com uma vegetação considerada densa (Mapa 2), logo, segundo Rouse *et al* (1973) os valores que variarem de 0,2 a 0,8 são pertencentes a vegetações saudáveis. Manzato (2017) relacionou em seu estudo os valores mais altos de NDVI encontrados, com vegetações mais densas e exuberantes, e que tinham maior capacidade de armazenamento de CO₂.

Mapa 2- Mapa de NDVI do PNNRP



Fonte: Autora, 2019.

Os valores do NDVI do Parque variaram entre valores negativos e positivos, Fausto *et al* (2016), em seu estudo sobre o “Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso”, constatou a partir da aplicação dos índices de vegetação, que houve diferença significativa nos valores de NDVI. Em sua pesquisa o NDVI da Mata ciliar foi 57% maior do que na soja, 35% na cana-de-açúcar e 40% na Pastagem e valores negativos para corpos d’água.

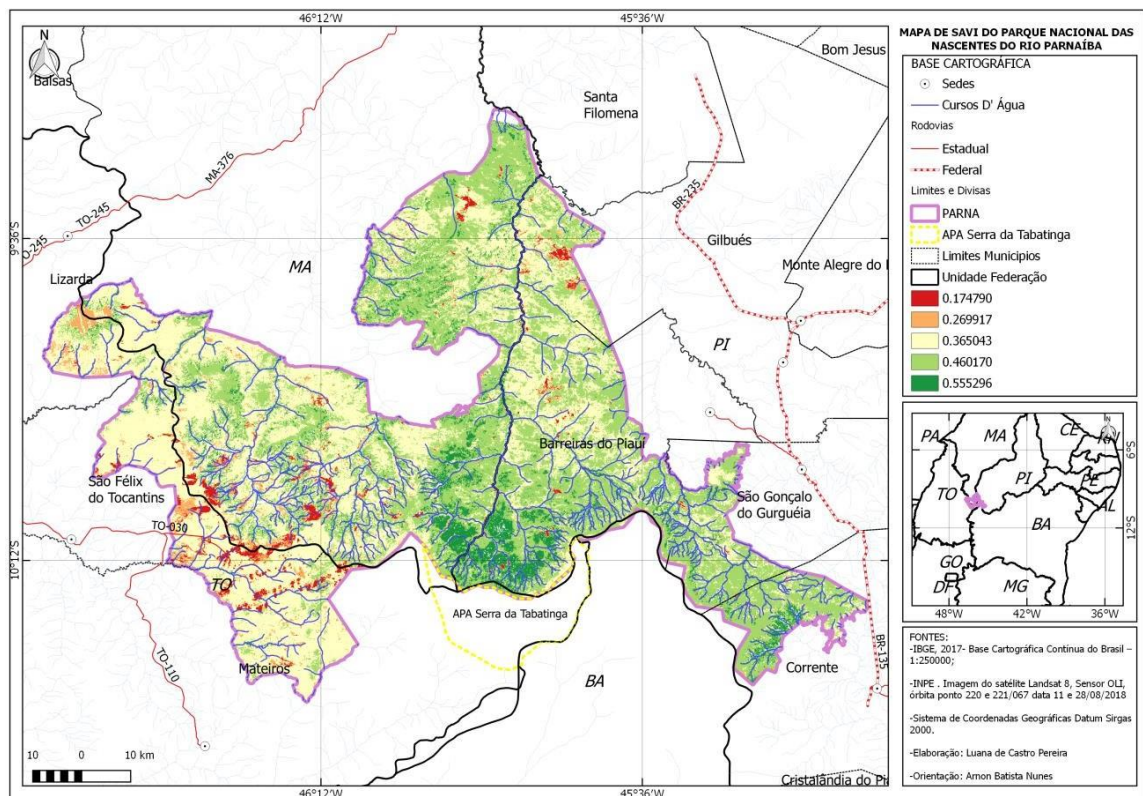
Os valores de NDVI obtidos dentro do PNNRP, foram inferiores aos valores

encontrados por Risso *et al* (2012) que foram de aproximadamente 0,8, em uma área de transição do Cerrado-Amazônia. Machado *et al.* (2004) e Santos (2001) incluem como fitofisionomias do PNNRP o campo-cerrado, cerrado típico ou “sensu stricto” , brejo ou veredas, cerrado campo limpo e cerradão.

Segundo Karlsen (2018), O NDVI consegue monitorar grandes áreas de difícil acesso, além de poder proporcionar o acompanhamento de mudanças ambientais, outra função desse índice é determinar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área (ESTEVES *et al*, 2012). Além disso, o NDVI dispõe de vantagem sobre os demais índices, o mesmo se apresenta como o mais proporcional à biomassa da vegetação e o que sofre menor interferência das condições atmosféricas (MACHADO, 2018).

A partir da aplicação do NDVI na área do parque obtiveram-se informações importantes sobre a biomassa presente no parque, como a presença de uma vegetação densa que como consequência possuem maiores estoques de CO₂, que através do sensoriamento remoto permitiu ter as informações de áreas de difícil acesso, o que é de grande valia para o monitoramento de futuras mudanças no meio. Brandão (2007) observou em sua pesquisa que ao aumentar o NDVI à biomassa acumulada acima da superfície é incrementada proporcionalmente, ou seja, quando ocorre o aumento desse índice, também ocorrerá o aumento da biomassa da superfície de forma proporcional.

Em se tratando Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) a partir das análises dos valores obtidos com a aplicação do índice, percebeu-se que os valores de SAVI encontrados foram todos positivos, uma vez que esses valores variam de positivo e negativo, sendo os valores positivos áreas com coberturas vegetais e as negativas áreas com ausência dessa cobertura (ALVARENGA, 2014). Assim, pôde-se afirmar que a área em estudo recebeu valores positivos por se tratar de uma área com cobertura vegetal satisfatória estando inserida como uma unidade de conservação de proteção integral (Mapa 3).

Mapa 3: MAPA de SAVI do PNNRP

Fonte: Autora, 2019.

Outro fator importante é que os valores de SAVI encontrados foram próximos aos valores de NDVI, que pode estar relacionado ao fato da área ter uma boa cobertura vegetal, podendo ser considerada pouca influência das características do solo sob os índices de vegetação. Contraposto a isso, Veraverbeke (2012) verificou em seu estudo em ambientes com um único tipo de vegetação que o SAVI superou o NDVI, constatando assim que o índice SAVI busca minimizar os efeitos de fundo sob os índices de vegetação, que é basicamente a presença de solo em meio à vegetação.

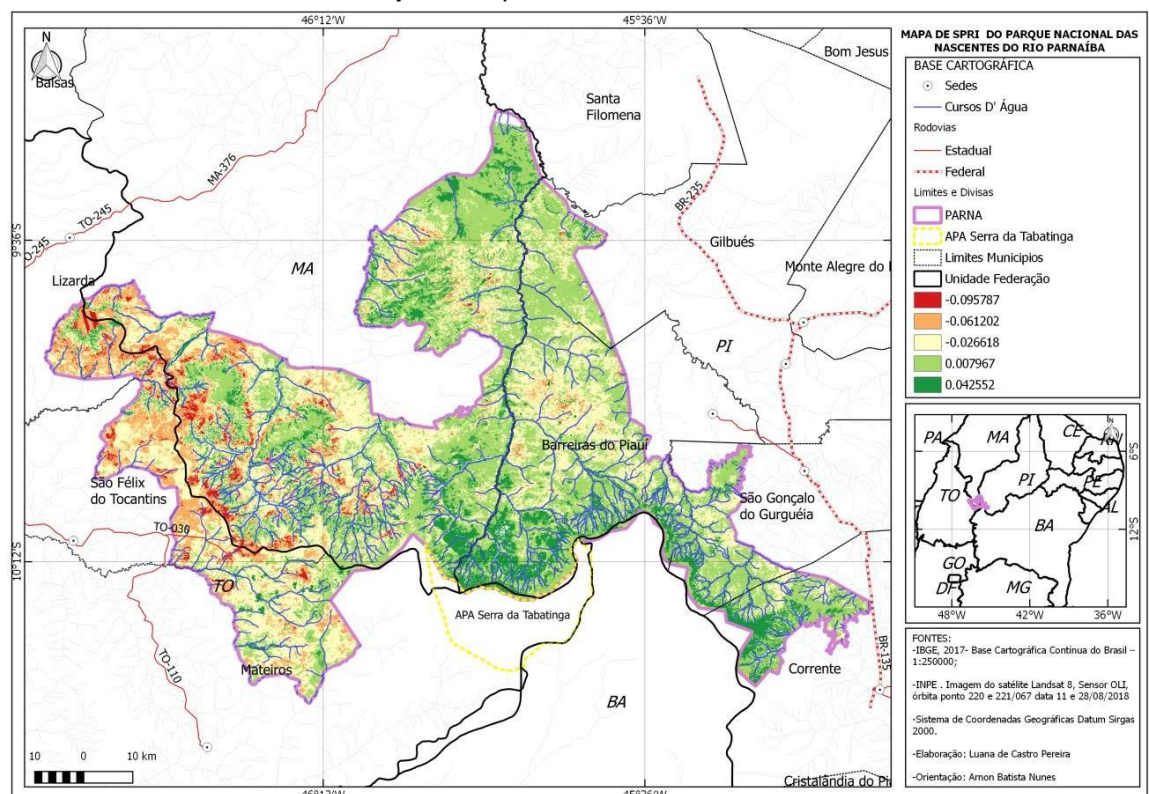
Foi utilizado para esse estudo o fator de conversão $L=0,5$ para vegetação de médio porte e, corroborado a isso, Braz (2015) em seu estudo na Bacia Hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho em área de Cerrado e vegetação natural de floresta aluvial, utilizou desse mesmo fator de conversão e os seus resultados para os índices do SAVI apresentaram maior presença nos índices da vegetação, isso porque a constante “L” diminui a influência da resposta espectral do solo no cálculo do SAVI.

Ao que se refere ao índice PRI, o PNNRP apresentou uma área significativa com valores próximos a um, podendo assim considerar sendo vegetações eficientes

no processo da fotossíntese (Mapa 4). O índice de vegetação PRI é utilizado com um excelente indicador da função fotossintética das plantas, para o melhoramento dos resultados desse índice e para considera-lo na mesma escala do NDVI, se aplica o sPRI que relaciona a fotossíntese com a boa utilização da radiação. Os valores de sPRI encontrados próximos de zero, irão indicar a baixa eficiência do uso da luz fotossintética, já os valores próximos à um, indicarão a eficiência no uso da mesma (RAHMAN et al., 2001).

De acordo Coltri (2009) quanto maior for à fotossíntese, maior será a possibilidade de a vegetação utilizar o carbono atmosférico para os processos fotossintético e consequentemente, maior a quantidade de carbono estocado. Além disso, Quanto maior for a capacidade de utilização da luz pela fotossíntese, maior será a eficiência da planta em realizá-la, portanto, a intensidade de realização da fotossíntese pode ser modificada pela quantidade de luz que ela recebe.

Mapa 4: Mapa de sPRI do PNNRP

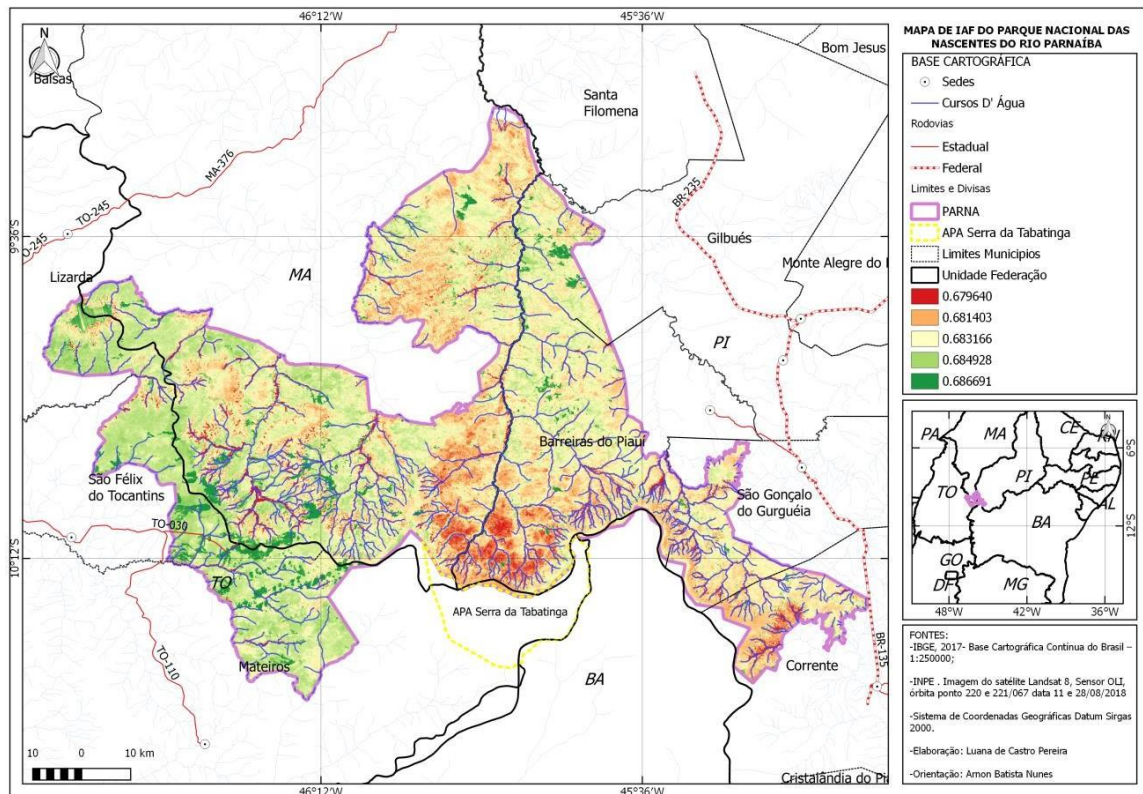


Fonte: Autora, 2019.

Considerando os resultados obtidos do Índice de Área Foliar (IAF) e levando em consideração que quanto maior os valores desse índice, melhor será o desenvolvimento da vegetação por ter maior capacidade de absorção de luz solar,

consequentemente as áreas do parque com valores de IAF maiores terão maior capacidade de armazenamento de CO₂ na biomassa arbórea, portanto nessas áreas se encontram um maior estoque de CO₂ em relação às outras áreas (Mapa 5).

Mapa 5: Mapa do IAF do PNNRP



Fonte: Autora, 2019.

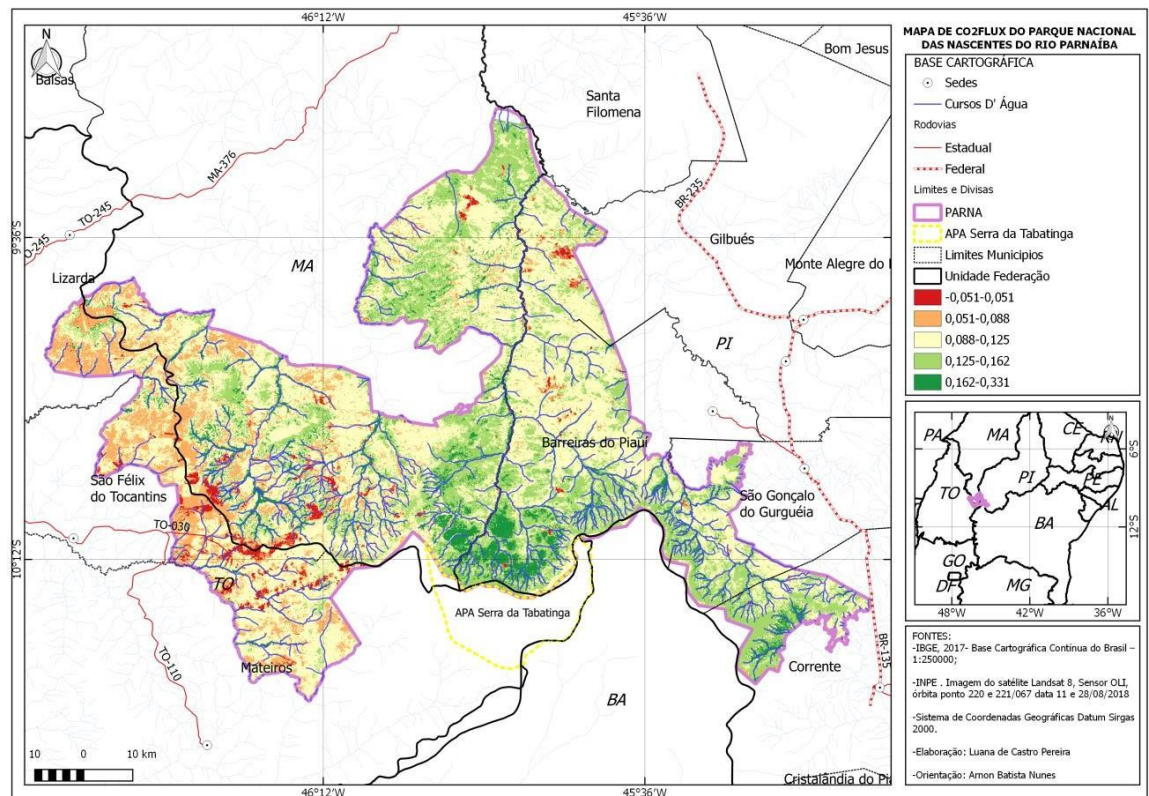
A partir dos resultados encontrados através do IAF do PNNRP verificou que em áreas que os valores são maiores encontram-se as vegetações com o melhor desenvolvimento, além disso, absorvem maiores quantidades de energia solar e consequentemente armazenam maior quantidade de Carbono em sua biomassa, sendo assim essas espécies com o maior desenvolvimento há um maior estoque de CO₂. De acordo com Müller (2005) O IAF tem relação com a capacidade fotossintética da população vegetal por estar relacionado à área de assimilação de CO₂ e de interceptação de radiação.

Segundo Alvares *et al* (2015), em estudos a ecologia mostra que a produção de biomassa da parte aérea da floresta está diretamente relacionada ao índice de área foliar (IAF) e consequentemente à absorção de radiação.

A partir da aplicação dos índices para a obtenção do CO₂Flux foi possível identificar a partir do mapa, a eficiência do sequestro de carbono no PNNRP (Mapa

6). As áreas vegetadas possuem o CO₂flux alto devido as plantas reterem mais gás carbônico (TEOBALDO, 2016).

Mapa 6: Mapa do CO₂Flux do PNNRP



Fonte: Autora, 2019.

Telbaldo (2016) explica em seu trabalho sobre a capacidade do sequestro de carbono em uma área de Cerrado nas unidades de conservação em Brasília, ele apresenta a diversidade fitofisionômica do cerrado no PARNA Brasília, que apresentam além do Cerrado Sensu Stricto e da Mata de Galeria, as fitofisionomias de Campo Sujo e de Campo. O mesmo constatou que o sequestro de carbono nessas diversas fitofisionomias é diferenciado, pois a cobertura arbórea da mata de galeria é maior que a do cerrado sensu stricto e conseqüentemente maior que a dos campos.

Posto isso, constatou-se a partir dos resultados de CO₂flux as áreas de maiores valores de fluxo de carbono, podendo ser explicado a diferenciação desses valores pela grande diversidade fitofisionômica do cerrado, apresentando áreas com maiores densidades florestais e conseqüentemente melhores atuantes no processo de estocagem de carbono.

Levando em conta os valores relacionados ao CO₂Flux, IAF, NDVI e os

demais índices, percebeu-se a capacidade do Parque no aproveitamento da luz solar e a realização da fotossíntese, além de abrigar uma vegetação saudável, podendo assim afirmar o grande potencial do PNNRP em armazenar carbono, sendo assim a área do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba contém um fluxo de carbono alto, devido a capacidade da vegetação na retenção de Carbono.

De acordo Manzato (2017), outra forma de aplicar esses índices se dá por se pensar em processos que reduzam ou sequestram Carbono da atmosfera sendo um deles o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo criado pelo Protocolo de Kyoto, além disso, ele cita que o mercado de Carbono também pode ser beneficiado pelo processo de sequestro e armazenamento de Carbono pelas espécies florestais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A partir das análises dos índices de vegetação foi possível constatar que o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba possui uma vegetação densa e saudável, o que corrobora com futuros estudos sobre manejo da unidade;
- Os índices NDVI, SAVI, sPRI e o IAF foram eficientes e apontaram que a unidade possui um alto fluxo de carbono, levando em conta o alto potencial na realização da fotossíntese além de abrigar uma vegetação densa e obter um alto potencial no armazenamento de CO₂;
- A utilização do sensoriamento remoto como ferramenta de análise ambiental pode facilitar aos pesquisadores o controle ambiental a partir do monitoramento de cobertura vegetal e bacias hidrográficas, associando o uso de novas tecnologias com o planejamento e controle ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, A.S.; Moraes, M.F. **Utilização de imagens LANDSAT – 8 para caracterização da cobertura vegetal: Processamento digital de imagens LANDSAT – 8 para obtenção dos índices de vegetação NDVI e SAVI visando a caracterização da cobertura vegetal no município de Nova Lima – MG.** Disponível em: < <http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/>>. Acesso em: 29 fev.2019.
- ALVARES, C. A. *et al.* Uso de sensoriamento remoto na estimativa do índice de área foliar em Eucalyptus. **ensaio**, v. 100, n. 720, p. m2, 2015.
- BRANDÃO, Z. N; BEZERRA, M. V. C; SILVA, B.B. Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 75-81, 2007.
- BRAZ, Adalto Moreira; DE ANDRADE ÁGUAS, Thiago; GARCIA, Patricia Helena Mirandola. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria–MS. **Revista Percorso**, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015.
- COLTRI, P. P. *et al.* Utilização de índices de vegetação para estimativas não-destrutivas da biomassa, estoque e sequestro de carbono do cafeeiro arábica. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal**, p. 121-128, 2009.
- COTTA, M. K. *et al.* Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 969-978, 2008.
- ESTEVES, B. S.; SOUSA, E. F.; LOUSADA, L. L.; MENDONÇA, J. C.; MUNIZ, R. A.; SILVA, R. M. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 663-670, 2012. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7i4a1597>
- FAUSTO, M. A. *et al.* Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, 2016.
- HUETE, A. R., Jackson, R. D., and Post, D. F. (1965), Spectral response of a plant canopy with different soft backgrounds, *Remote Sens. Environ.* 17:37-53.
- HUETE, A.R., A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p.295-309, 1988.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/> . Acesso em: 30 de fev. de 2019.
- ICMBIO. **Relatório Parametrizado** – Unidade de Conservação: Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Brasília: ICMBIO, 2013. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-deconservacao>. Acesso em:

30 de fev. de 2019.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBIO. 2019.
Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/>. Acesso em: 30 de fev. de 2019.

KARLSEN, S. R. et al. Uma nova medida de NDVI que supera a dispersão de dados em regiões cobertas por nuvens prevê variação anual em estimativas baseadas em solo de alta produtividade de plantas árticas. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 2, p. 025011, 2018.

LOPES, R. B; MIOLA, D. T. B. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do cerrado. **SYNTHESIS| Revistal Digital FAPAM**, v. 2, n. 2, p. 127-143, 2016.

MACHADO, R. B. et al. Estimativa de perdas da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservation International do Brasil**, Brasília, 2004.

MACHADO, S. L. D; SILVA, C. R; DE ARAÚJO, A. A. Temporal description of Cerrado sensu stricto behavior using time series. **Ciência e Natura**, v. 40, p. 30, 2018.

MANZATO, C. L. *et al.* Índices de Vegetação para estimativa de estoque de carbono e biomassa na cultura do *Eucalyptus sp.*
XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São Paulo. 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.** Corrente, 2007. Disponível em:
<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/37-parque_nacional_nascentes_rio_parnaiba-pi.pdf>. Acesso em: 29 de fev. de 2019.

Müller, A.G. et al. estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. Santa Maria: **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.13 n.1,p.65-71,2005.

NETO, M. S. et al. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, 2011.

PONZONI, F.J; SHIKUMURO, Y.E; KUPLICH, T.M. Sensoriamento da Vegetação. 2. Ed. Atualizada e ampliada- São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RAHMAN, A. Gamon, J.A.; Fuentes, D.A.; Roberts, D.A.; Prentiss, D. Modeling distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n.24, p. 579-591, 2001.

RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E; FORMAGGIO, A. R. et al. Índices de vegetação MODIS aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1317-1326, 2012.

ROUSE, J.W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** In 3rd ERTS Symposium, NASA. 1973.

SANTOS, M. P. D. Composição de avifauna nas áreas de proteção ambiental Serra da Tabatinga e Chapada das Mangabeiras, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. 17 (1): 43-67, 2001.

TEOBALDO, D; BAPTISTA, G. M. M. Quantificação da Severidade das Queimadas e da Perda de Sequestro Florestal de Carbono em Unidades de Conservação do Distrito Federal (Measurement of Severity of Fires and Loss of Carbon Forest sink in the Conservation Units at Distrito Federal). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 250-264, 2016.

U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8>. Acesso: 30 de fev. de 2019.

VERAVERBEKE, S.; HOOK, S.; HULLEY, G. An alternative spectral index for rapid fire severity assessments. **Remote Sensing of Environment**, v.123. p.72-80, 2012.