

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Bruno Henrique Ribeiro Silva

USO DE ÍNDICES ESPECTRAIS PARA AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DE  
ABSORÇÃO DE CO<sub>2</sub> PELA VEGETAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA –  
MG: 2006 – 2020

Uberlândia – MG

2022

Bruno Henrique Ribeiro Silva

AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DE ABSORÇÃO DE CO<sub>2</sub> PELA VEGETAÇÃO DO  
MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA – MG ENTRE OS ANOS DE 2006 E 2020 UTILIZANDO  
ÍNDICES ESPECTRAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Samara Carbone

Uberlândia – MG

2022

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus. Aquele que é minha motivação dia e noite, que me sustentou até aqui e me amou mesmo quando não era amado. Obrigado meu Senhor, sem ti eu não teria conseguido. Também a Nossa Senhora, minha querida mãe do céu, que me ensinou a ter paciência e a perseverar em meio às dificuldades. Obrigado pela tua intercessão e cuidado para comigo.

Aos meus queridos pais, que me ensinaram a valorizar a vida e a correr atrás dos meus sonhos. Obrigado por todo o apoio em todos estes anos de faculdade, sei que foi muito árduo e cansativo, mas valeu a pena. Amo vocês!

A todos os meus familiares, que ajudaram de uma forma ou de outra, e que com tão pequenas e singelas ajudas, permitiram que eu chegasse até aqui.

Aos meus amigos do dia a dia, que sempre me escutaram, me apoiaram e me encorajaram a lutar pelas coisas. Obrigado pela amizade, mesmo com a distância.

Aos meus amigos da faculdade, que riram das minhas piadas sem graça e fizeram os meus dias mais felizes, mesmo com todas as dificuldades que passamos dentro da sala de aula. Obrigado pelo apoio e pela amizade, sem vocês a vida acadêmica não teria sido tão divertida!

Agradeço imensamente ao Ministério Universidade Renovadas, por ter colocado em meu coração esse sonho de amor para o mundo. Em especial ao GOU Santa Mônica e a todos os servos e àqueles que participam, cujos encontros me deram sustento e vigor durante as correrias do dia a dia e me faziam lembrar do amor de Deus por nós. Obrigado por todo carinho e pela oportunidade de estar unido em oração com vocês.

Aos professores que ministraram todas as disciplinas que cursei, aos técnicos e servidores da UFU, cada um de vocês me ensinou algo seja em relação à matéria ou em relação à vida, me fizeram refletir muitas coisas e a amadurecer cada dia mais. Agradeço em especial às professoras Raquel e Tatiane, que me orientaram em iniciações científicas ao longo da faculdade e me trouxeram muito aprendizado quanto à área acadêmica.

Ao PET e a todos os petianos. Grupo esse que me ensinou muito, me concedeu muitas oportunidades e pelo qual terei sempre um carinho enorme.

A professora Samara pela orientação neste trabalho e também no PET, pela contribuição na minha formação acadêmica, pela amizade e companheirismo, pela paciência para comigo e pela dedicação a tudo que faz. És um exemplo a todos nós.

“Conhece-te, aceita-te, supera-te”.

Santo Agostinho de Hipona.

## RESUMO

A absorção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pela vegetação pode ser estimada pela metodologia proposta por Rahman *et al.* (2000) denominada CO<sub>2</sub>flux, considerando os índices espectrais obtidos por meio de dados de sensores remotos. Esta metodologia costuma ser empregada nas estimativas feitas para regiões de florestas de clima tropical e temperado, embora já existam estudos utilizando-a em outras regiões, como no Cerrado. Para o presente trabalho, aplicou-se esta metodologia para todo o município de Uberlândia-MG, ao longo de uma série temporal compreendida entre os meses de abril a outubro de 2006 a 2020. Os valores de CO<sub>2</sub>flux obtidos foram correlacionados com as variáveis meteorológicas de temperatura, precipitação, umidade relativa do ar e radiação solar, além de dados de mudança do uso e cobertura do solo no município. Por meio da análise foi possível identificar maiores valores de absorção de carbono para o mês de abril em comparação com os demais meses considerados neste estudo. Além disso, as correlações indicaram uma maior relação entre os valores do índice e as variáveis de umidade relativa do ar média (R = 0,50), umidade relativa do ar média de 30 dias (R = 0,84) e precipitação acumulada de 30 dias (R = 0,70). Quando correlacionados com os dados de ocupação do solo por agricultura e pastagem, os valores de CO<sub>2</sub>flux obtiveram uma correlação de 0,72 e -0,76 respectivamente, indicando uma influência forte positiva da agricultura e forte negativa da pastagem nos valores do índice.

**Palavras-chave:** absorção de carbono; dióxido de carbono; uso e ocupação do solo; variáveis meteorológicas.

## ABSTRACT

The absorption of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) by vegetation can be estimated by the methodology proposed by Rahman et al. (2000) called CO<sub>2</sub>flux, considering the spectral indices obtained through data from remote sensors. This methodology is usually used in the estimates made for regions of tropical and temperate forests, although there are already studies using it in other regions, such as the Cerrado. For the present work, this methodology was applied to the entire municipality of Uberlândia-MG, over a time series between the months of April to October of 2006 and 2020. The values of CO<sub>2</sub>flux obtained were correlated with the meteorological variables of temperature, precipitation, relative humidity and solar radiation, in addition to data on change in land use and cover in the municipality. Through the analysis it was possible to identify higher values of carbon absorption for the month of April compared to the other months considered in this study. In addition, the correlations indicated a greater relationship between the values of the index and the variables of mean relative humidity ( $R = 0,50$ ), mean relative humidity of 30 days ( $R = 0,84$ ) and accumulated precipitation of 30 days. ( $R = 0,70$ ). When correlated with land use data by agriculture and pasture, CO<sub>2</sub>flux values obtained a correlation of 0.72 and -0.76 respectively, indicating a strong positive influence of agriculture and strong negative influence of pasture on the index values.

**Keywords:** carbon absorption; carbon dioxide; land use and occupation; meteorological variables.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica do município de Uberlândia.

Figura 2 – Esquema representativo do CO<sub>2</sub> dentro do Ciclo do Carbono.

Figura 3 – Valores de refletância da água, solo arenoso e vegetação.

Figura 4 – *Box plot* dos dados de CO<sub>2</sub>flux obtidos.

Figura 5 – Valores de CO<sub>2</sub>flux médio e temperatura máxima para a série temporal.

Figura 6 – Valores de CO<sub>2</sub>flux médio e umidade relativa do ar média para a série temporal.

Figura 7 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio e umidade relativa do ar média.

Figura 8 – Valores de CO<sub>2</sub>flux médio e umidade relativa do ar média de 30 dias para a série temporal.

Figura 9 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio e umidade relativa do ar média de 30 dias.

Figura 10 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio e precipitação acumulada de 30 dias.

Figura 11 – Valores de CO<sub>2</sub>flux médio e precipitação acumulada de 30 dias para a série temporal.

Figura 12 – Variação do uso e cobertura do solo no município de Uberlândia – MG entre 2006 e 2020.

Figura 13 – Exemplo de diferentes níveis de cobertura do solo.

Figura 14 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio anuais e área anual ocupada por agricultura.

Figura 15 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio anuais e área anual ocupada por pastagem.



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Evolução da população de Uberlândia – MG.

Tabela 2 – Datas das imagens de satélite utilizadas.

Tabela 3 – Variáveis meteorológicas utilizadas na correlação com os valores de CO<sub>2</sub>flux.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CH <sub>4</sub>	<i>Metano</i>
N <sub>2</sub> O	<i>Óxido Nitroso</i>
CFCs	<i>Clorofluorcarbonetos</i>
CO <sub>2</sub>	<i>Dióxido de Carbono</i>
GEEs	<i>Gases do Efeito Estufa</i>
PIB	<i>Produto Interno Bruto</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
PRI	<i>Photochemical Reflectance Index</i>
sPRI	<i>Photochemical Reflectance Index rescheduled for positive values</i>
CO <sub>2</sub> flux	<i>Índice da eficiência do processo de absorção de carbono</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
QGIS	<i>Quantum GIS</i>
INMET	<i>Instituto Nacional de Meteorologia</i>
UFU	<i>Universidade Federal de Uberlândia</i>

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GERAL .....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA .....	14
3.1.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MUNICÍPIO .....	14
3.1.2. URBANIZAÇÃO .....	15
3.1.3. VEGETAÇÃO E USO DO SOLO .....	16
3.2. EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA .....	17
3.2.1. CO <sub>2</sub> DENTRO CICLO DO CARBONO.....	18
3.3. SENSORIAMENTO REMOTO.....	20
3.4. ÍNDICES ESPECTRAIS .....	23
3.4.1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) .....	23
3.4.2. ÍNDICE DE REFLETÂNCIA FOTOQUÍMICA (PRI).....	24
3.4.3. CO <sub>2</sub> FLUX.....	24
4. METODOLOGIA .....	26
4.1. CARACTERÍSTICAS DOS DADOS UTILIZADOS .....	26
4.1.1. CARACTERÍSTICAS DOS DADOS DOS SATÉLITES .....	27
4.2. CÁLCULO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS .....	29
4.3. COMPARAÇÃO ENTRE VALORES DE CO <sub>2</sub> FLUX E DADOS METEOROLÓGICOS E DE COBERTURA DO SOLO.....	30
4.3.1. DADOS METEOROLÓGICOS.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	32
5.1. COMPORTAMENTO DOS VALORES DE CO <sub>2</sub> FLUX AO LONGO DA SÉRIE TEMPORAL.....	32
5.2. RELAÇÃO ENTRE CO <sub>2</sub> FLUX E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	37
5.3. CO <sub>2</sub> FLUX E USO DO SOLO .....	48
6. CONCLUSÃO .....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

## 1. INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um fenômeno natural que acontece no planeta há milhares de anos (PINTO *et al.*, 2010) e que tem sido afetado pelas atividades antrópicas, por conta do aumento das emissões dos chamados gases do efeito estufa (GEEs) (CARVALHO *et al.*, 2010). Os principais integrantes do grupo dos GEEs são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os clorofluorcarbonetos (CFCs) (NUNNENKAMP E CORTE, 2017).

Embora o potencial de aquecimento do CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e dos CFCs seja muito maior, o CO<sub>2</sub> é o gás que possui a maior contribuição para o efeito estufa, por conta da enorme quantidade que é emitida para a atmosfera (CARVALHO *et al.*, 2010). Os autores destacam que o aumento da liberação de GEEs se deve, além do uso de combustíveis fósseis, ao desmatamento e ao uso inadequado do solo na agricultura, considerando também a utilização de queimadas.

O relatório de Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa lançado em 2020, traz as mudanças de uso da terra como as principais fontes emissoras de GEEs no ano de 2019, em nosso país. Segundo o documento, essas mudanças corresponderam a 44% do total de emissões, tendo sido puxadas pelo desmatamento. Já o setor da agropecuária apareceu em segundo, com 28% e o setor de energias em terceiro, com 19%.

A região do Cerrado, onde está localizado o município de Uberlândia, é caracterizada por Lombardi (2005) como um bioma muito suscetível à ação de queimadas, sejam elas antrópicas ou naturais. Além disso, o autor destaca a alta atividade agropecuária na região, que intensifica as dinâmicas de mudança de uso e ocupação do solo e conseqüentemente a emissão de CO<sub>2</sub> e outros GEEs.

O carbono emitido para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub> pode ser capturado pelas plantas através do processo da fotossíntese. Tendo em vista que o CO<sub>2</sub> é um componente importante e necessário para esse processo (BAPTISTA, 2004), destaca-se então o papel da vegetação como agente de captura desse carbono, uma vez que ela atua absorvendo-o e retendo-o em sua biomassa.

Nesse contexto, o ideal é buscar formas de garantir a preservação da vegetação e evitar ações que liberem o carbono retido de volta para a atmosfera. Essa preservação, no entanto, não é efetiva na maioria das vezes, tendo em vista as grandes áreas que ainda sofrem com incêndios, desmatamento e outras mudanças drásticas de uso do solo. Pensando nesse papel das plantas é

de grande valia estudar e analisar a ocorrência dessa captura do CO<sub>2</sub> presente na atmosfera, bem como estimar a quantidade desse carbono que é absorvida pela vegetação.

Uma forma de se estimar essa absorção envolve a utilização de sensoriamento remoto e índices espectrais de vegetação, cujos dados obtidos possibilitam realizar tal estimativa para uma determinada região de interesse ao longo de uma série temporal. Pode-se analisar também os fatores e variáveis que influenciam nesse processo de captura do carbono e como essa interferência se dá no decorrer dos anos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O presente estudo parte da hipótese de que através de dados obtidos por sensores remotos e utilização de índices de vegetação, é possível estimar a absorção de CO<sub>2</sub> pela vegetação e suas variações ao longo de um determinado período. Assim, este trabalho visou estimar e analisar a variação de absorção de CO<sub>2</sub> pela vegetação, para o município de Uberlândia – MG entre os anos de 2006 e 2020, utilizando imagens das coleções dos satélites Landsat 5 e Landsat 8.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar e quantificar o sequestro de carbono realizado pela vegetação, utilizando-se do índice espectral CO<sub>2</sub>flux;
- Avaliar a variabilidade do sequestro de carbono ao longo da série temporal;
- Analisar a influência de fatores meteorológicos e da mudança de uso da terra nos resultados obtidos.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA

##### 3.1.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MUNICÍPIO

O município de Uberlândia está localizado na região do Triângulo Mineiro no Estado de Minas Gerais, possuindo uma população estimada de 706.597 habitantes para 2021, e uma área de 4115,206 km<sup>2</sup>, segundo dados do IBGE. Dessa forma, a cidade é a maior do interior de Minas e a segunda maior do Estado, estando atrás apenas da capital Belo Horizonte.

Segundo Alves *et al.* (2019), Uberlândia se caracteriza como uma cidade de porte médio e cuja área urbana corresponde a cerca de 219 km<sup>2</sup>. Ainda segundo os autores, dentro da região o município se destaca por possuir uma taxa de crescimento geométrico demográfico de 3,31% anual, o que segundo eles é superior até mesmo à taxa do país.

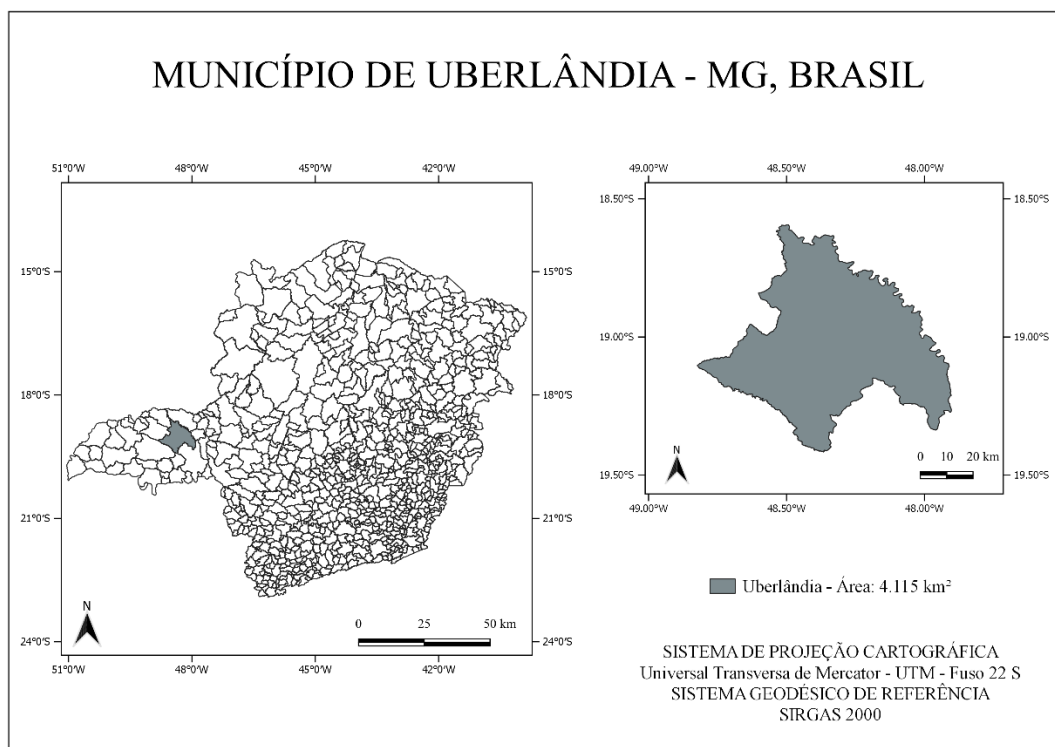


Figura 1 – Localização geográfica do município de Uberlândia.

Fonte: O Autor (2021).

Em relação à sua economia, o IBGE traz que em 2018 o município apresentou um PIB per capita de R\$ 54.801,25, sendo a maior parcela oriunda do setor de serviços, como administração, saúde pública, educação, entre outros. Em contrapartida, o índice de pobreza na cidade alcança cerca de 13,64%, algo realmente contrastante com o alto PIB da cidade.

Um dos pontos fortes do município é a infraestrutura em relação ao saneamento básico. Segundo o Instituto Trata Brasil, que divulga o *ranking* do saneamento entre as 100 maiores cidades brasileiras, Uberlândia ocupa a terceira posição no *ranking* de 2021; apresentando uma cobertura de 100% de atendimento urbano de água e 99,61% de atendimento urbano de esgoto.

### 3.1.2. URBANIZAÇÃO

Alves *et al.* (2019) destacam que a localização geográfica de Uberlândia beneficiou o desenvolvimento do município, visto sua posição entre os principais centros urbanos das regiões Centro-Oeste e Sudeste. Dado esse contexto, Soares (1988 apud DAMACENO, 2014) argumenta que o crescimento e desenvolvimento econômico estimularam a expansão e a ampliação da infraestrutura urbana do município.

Para se ter uma noção de sua expansão, pode-se observar o crescimento da população residente em Uberlândia entre os anos de 1970 e 2010 (Tabela 1). Analisando o tamanho da população no ano de 2010, vê-se que ela é quase 5 vezes maior do que a população residente de 1970.

Tabela 1 – Evolução da população de Uberlândia - MG.

Ano	População Total	População Urbana	Índice de Urbanização (%)
1970	124.706	111.466	89,38
1980	240.961	231.598	96,11
1991	367.061	358.165	97,57
2000	501.214	488.982	97,55
2010	604.013	587.266	97,52

Fonte: Damaceno (2014).

Uma vez que a população cresce, torna-se necessário ampliar a infraestrutura urbana, sobretudo aquelas que garantem condições básicas para a vida da população, como o saneamento básico por exemplo. Mas se esse crescimento ocorre de maneira descontrolada a cidade pode sofrer com problemas sociais, ambientais e de infraestrutura.

Biziak *et al.* (2020) citam alguns problemas específicos que acometem sobretudo a região central de Uberlândia, mas que refletem condições que podem ocorrer no restante da área urbana do município, tais como deficiências na coleta de lixo, problemas com o sistema de transmissão de eletricidade e as inundações.

Em relação às inundações, Biziak *et al.* (2020) atribuem a problemática das inundações ao rápido crescimento do perímetro urbano sem um planejamento eficiente do uso da terra; e comentam ainda sobre a má distribuição da vegetação existente nas áreas mais centrais de Uberlândia e a densidade deficiente de áreas verdes. A carência de espaços verdes em determinadas regiões das cidades, combinada com a presença de superfícies impermeabilizadas, pode interferir diretamente na sua qualidade ambiental urbana (VIEIRA E MACHADO, 2018).

### 3.1.3. VEGETAÇÃO E USO DO SOLO

O município de Uberlândia localiza-se dentro do domínio do bioma Cerrado. Esse bioma caracteriza-se por apresentar diferentes fitofisionomias, que abrangem desde formações florestais com predominância de espécies arbóreas e formação de dossel; passando por formações savânicas com arbustos e árvores espalhados sobre estrato graminoso; até formações campestres com predominância de espécies herbáceas e algumas arbustivas (RIBEIRO E WALTER, 1998).

Apesar de apresentar diferentes fitofisionomias, a vegetação típica apresentada pelo Cerrado é constituída por espécies de troncos tortuosos, porte baixo, ramos retorcidos, cascas espessas e folhas grossas; cujas características se devem à fatores edáficos, como o desequilíbrio no teor de micronutrientes (MEDEIROS, 2011). Além disso, Ribeiro e Walter (1998) destacam o clima que caracteriza o bioma, com invernos secos e verões chuvosos, precipitação anual média de 1500 mm e chuvas concentradas entre outubro e março.

Assim como no restante do Triângulo Mineiro, o setor agropecuário apresenta grande relevância no município (AMM, 2014), fazendo uso de grandes áreas. Segundo Santos e



Petronzio (2011), a pastagem e a agricultura eram os usos do solo de maior ocupação de área no município em 2010, com a área de pastagem ocupando 45% do território municipal, enquanto a área de agricultura correspondia a 27%, totalizando 72% de ocupação do solo pelo setor agropecuário; ao passo que a área ocupada pela vegetação natural era de 18%.

Santos e Petronzio (2011) compararam o uso do solo no município de Uberlândia no ano de 2002 em relação ao ano de 2010 e observaram variações pouco significativas. Segundo os autores, a área de pastagem é a mais representativa entre 2002 e 2010, mas perdeu uma área que possivelmente foi ocupada pela agricultura, que apresentou um aumento de 1,4%. As áreas de vegetação natural apresentaram um singelo aumento de 0,3%, o que segundo os autores pode ser explicado pelas áreas remanescentes próximas a cursos d'água que estão sendo preservadas.

Quando se observa o uso do solo em 2020, o site MapBiomias Brasil traz que a área ocupada pelo setor agropecuário no município, considerando agricultura e pastagem juntas, é de quase 73,86%; valor quase 2% maior do que o comentado por Santos e Petronzio (2011) para esse setor no ano de 2010. No entanto, segundo os dados do site, as áreas de pastagem e agricultura apresentaram valores próximos no ano de 2020, ocupando 102.228 e 103.402 hectares respectivamente.

### 3.2. EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

O desenvolvimento da sociedade ao longo dos últimos séculos tem ocasionado inúmeros impactos ambientais, causando a degradação do meio ambiente e seus recursos naturais, como os solos, a água, o ar, entre outros. Quando falamos da degradação do ar, observa-se que ela se encontra relacionada à emissão de gases poluentes, tais como os GEEs.

Torres *et al.* (2020) destacam que os grandes centros urbanos brasileiros apresentam degradação da qualidade do ar, ocasionada pela forte atividade industrial e intenso tráfego de veículos nessas áreas. Já Carvalho *et al.* (2010) destacam a problemática gerada pelas queimadas e pelo desmatamento, e suas emissões de gases poluentes. O corte e a queima da vegetação natural acabam impactando também na matéria orgânica presente no solo (SIX *et al.*, 2002 apud SIQUEIRA NETO *et al.*, 2011), aumentando assim as emissões de CO<sub>2</sub> e outros GEEs (BERNOUX *et al.*, 2001 apud SIQUEIRA NETO *et al.*, 2011).

Nesse contexto, Carvalho *et al.* (2010) colocam que o solo desempenha papel importante sobre a emissão dos GEEs, e as mudanças de uso e manejo deste recurso causam

efeitos positivos e negativos em relação à emissão desses gases. Segundo os autores, determinadas atividades e sistemas de plantio podem contribuir tanto para um maior sequestro de carbono pela planta ou pelos mecanismos biológicos do solo, quanto para uma maior liberação do carbono que estava estocado para a atmosfera.

Os gases que são liberados por essas atividades são chamados de gases do efeito estufa (GEEs) justamente, segundo Pinto *et al.* (2010), pela sua capacidade de reter calor na atmosfera. Nesse grupo de gases estão inclusos o metano (CH<sub>4</sub>), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), alguns clorofluorcarbonetos (CFCs) e outros mais (NUNNENKAMP E CORTE, 2017). Mas dentre esses o CO<sub>2</sub> possui grande destaque por corresponder à maior parte das emissões e apresentar um tempo alto de permanência na atmosfera de no mínimo cem anos (PINTO *et al.*, 2010).

Devido às atividades antrópicas, cuja intensidade vem aumentando ao longo das últimas décadas, as concentrações dos GEEs na atmosfera têm subido consideravelmente. Uma vez que suas concentrações aumentam, aumenta também a intensidade do efeito estufa, pois como colocam Pinto *et al.* (2010), as altas concentrações resultam numa maior retenção de calor pela atmosfera, trazendo consequências para a vida na Terra.

### 3.2.1. CO<sub>2</sub> DENTRO CICLO DO CARBONO

Devido sua atuação dentro do efeito estufa, torna-se importante a compreensão da participação do dióxido de carbono dentro do ciclo do carbono, visto que ele corresponde à principal parcela de carbono existente na atmosfera. Como pode ser observado na Figura 2, existe uma troca natural de CO<sub>2</sub> entre a atmosfera e os seres vivos, sendo ele capturado pelas plantas através do processo de fotossíntese e liberado por meio da respiração de animais e plantas.

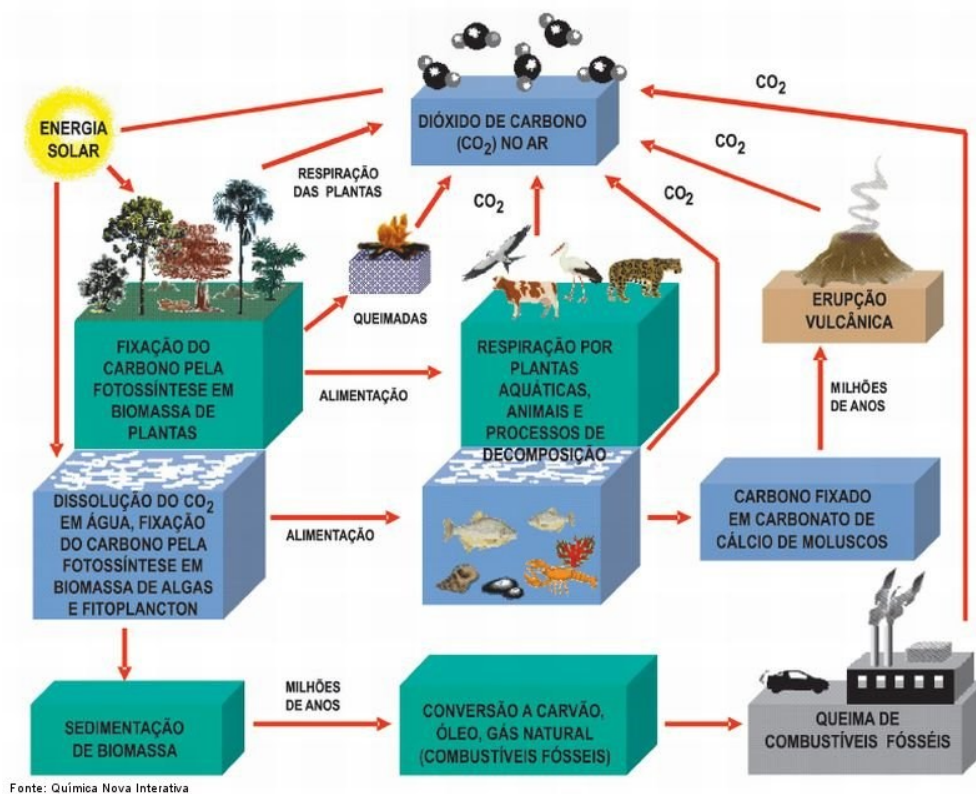


Figura 2 – Esquema representativo do CO<sub>2</sub> dentro do Ciclo do Carbono.

Fonte:

<http://www.repositorio.ppec.ueg.br:8080/bitstream/handle/123456789/41/ciclocarbono1.jpg?sequence=1&isAllowed=y>

Ainda sobre a Figura 2, o dióxido de carbono pode também ser absorvido pela sua dissolução em água e fixação em biomassa por algas e fitoplâncton; sendo que essa biomassa é posteriormente sedimentada e depois de processos que ocorrem por milhões de anos é convertida em combustíveis fósseis, tais como o carvão, o gás e o petróleo.

Assim, chegamos à outra forma de liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera: a queima de combustíveis fósseis, utilizados desde alguns séculos atrás em diversas atividades, como por exemplo nas indústrias e no setor de transportes. Justamente por conta de sua utilização massiva, a queima de combustíveis fósseis tornou-se a principal fonte global emissora de CO<sub>2</sub>. Além disso, deve-se citar novamente as queimadas, que também são responsáveis por uma parcela importante de liberação de CO<sub>2</sub> para atmosfera (CARVALHO *et al.*, 2010).

Mas as emissões de dióxido de carbono não são provenientes apenas de atividades antrópicas, pois existem também as liberações naturais desse GEE. Elas são provenientes dos

processos de decomposição da matéria orgânica realizado pelos microrganismos, e também provenientes da atividade vulcânica, como é mostrado na Figura 2.

Sendo assim, observando como se dão as dinâmicas de absorção e liberação do carbono na forma de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, vê-se que as plantas desempenham papel importante através da captura do carbono na forma de dióxido de carbono; o que ocorre durante o processo de fotossíntese. Dessa forma, diz-se que a vegetação possui a capacidade de “sequestrar” o carbono presente na atmosfera, o que torna este um processo importante contra a intensificação do efeito estufa.

Segundo Cerqueira e Franca-Rocha (2007), essa quantidade de carbono capturada varia de acordo com a densidade populacional da vegetação local e a composição florística dessa vegetação. Os métodos mais comuns utilizados para mensurar o potencial que a vegetação possui de reter o carbono podem ser feitos de maneira direta ou indireta. De forma direta quando demandam o abate de árvores utilizando tecnologias adequadas para isso, ou indireta quando as estimativas são realizadas através da aplicação de modelos matemáticos apropriados levando em consideração dados de inventários florestais (CORDEIRO *et al.*, 2018).

Com o advento de novas tecnologias e *softwares*, ligadas ao sensoriamento remoto, as estimativas de sequestro de carbono passaram a serem feitas também utilizando imagens de satélite e dados de geoprocessamento, gerando dados e informações que podem ser utilizadas para essa finalidade, a citar por exemplo os índices de vegetação.

### 3.3. SENSORIAMENTO REMOTO

Meneses *et al.* (2012) definem o sensoriamento remoto como uma tecnologia que busca a obtenção de imagens de satélite da superfície terrestre por meio da detecção e da medição das interações da radiação eletromagnética com os alvos terrestres sem que haja qualquer contato físico entre sensor e objeto. Segundo Rosa (2013), a radiação eletromagnética cuja fonte é o Sol é a principal forma de energia para o sensoriamento remoto. Ela propaga-se na velocidade da luz, na forma de ondas ou partículas eletromagnéticas, sem precisar de um meio material para sua propagação.

A radiação atravessa e interage com a atmosfera antes de ser coletada pelo sensor remoto, e por conta disso, ela acaba sofrendo interferências. A propagação da radiação eletromagnética pode ser afetada pela absorção ou pelo espalhamento na atmosfera (ROSA,

2013). Essa absorção é seletiva e pode ser realizada por vários gases existentes na atmosfera, como por exemplo o vapor d'água, o dióxido de carbono e o ozônio (MENESES *et al.*, 2012; ROSA, 2013). Já o espalhamento ocorre quando a radiação interage com as moléculas e partículas existentes na atmosfera, como o vapor d'água por exemplo, ocasionando sua difusão e espalhando as ondas de radiação em várias direções. (ROSA, 2013; WELTER *et al.*, 2020).

Por conta desses processos que afetam a propagação da radiação eletromagnética pela atmosfera, os sensores existentes nos satélites podem coletar a radiação proveniente de outros alvos diferentes do alvo de interesse e que estejam presentes numa mesma cena, podendo mascarar parcialmente ou totalmente a informação desejada; alterando também a radiância medida pelo sensor (ROSA, 2013; WELTER *et al.*, 2020).

Meneses *et al.* (2012) argumentam sobre o comportamento espectral dos alvos de uma cena, considerando-o de grande importância para a escolha adequada das bandas que serão utilizadas. Rosa (2013) comenta que saber o comportamento espectral dos alvos é importante também para identificar e discriminar os diferentes alvos existentes na cena. Ainda segundo o autor, o comportamento espectral de um alvo é basicamente a medida de refletância deste alvo ao longo do espectro eletromagnético. Um exemplo desse comportamento de alvos pode ser visto na Figura 3.

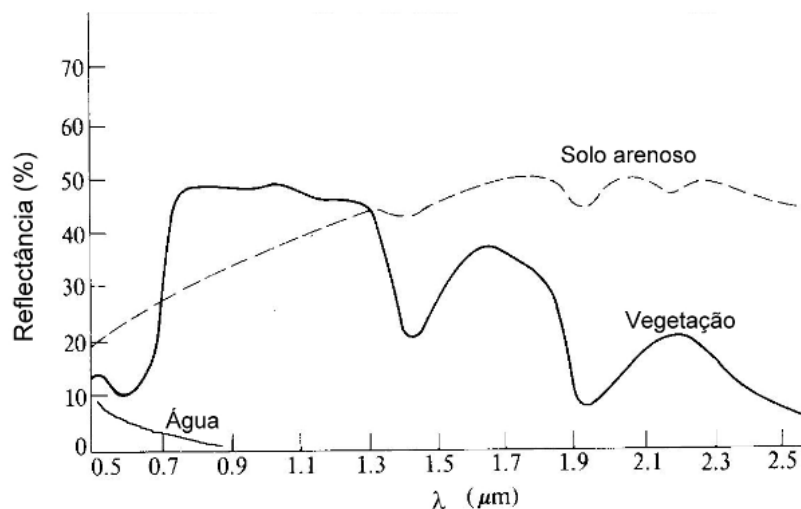


Figura 3 – Valores de refletância da água, solo arenoso e vegetação.

Fonte: Rosa (2013).

O conhecimento do comportamento espectral dos alvos apresenta grande importância quando utilizado no contexto dos índices de vegetação, como no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), por exemplo. Isso se deve pelo fato desses índices utilizarem comprimentos de onda específicos em seu cálculo, no qual se fazem estimativas do vigor vegetativo através do quanto as plantas absorvem ou refletem desses comprimentos.

Uma vez que os dados são obtidos pelos sensores dos satélites, é necessário coletá-los e tratá-los para se obter as informações de interesse. Rosa (2013) define que o geoprocessamento é justamente isso, uma área de atuação que envolve a coleta e o tratamento da informação espacial, bem como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações.

A tecnologia do geoprocessamento engloba os equipamentos (*hardwares*) e também os programas (*softwares*), com diferentes níveis de sofisticação, cujos sistemas podem servir às mais diversas finalidades: de pesquisa acadêmica, aplicações profissionais e científicas ou até mesmo sistemas para fins didáticos (TEIXEIRA *et al.*, 1992 apud ROSA, 2013).

Tanto o sensoriamento remoto quanto o geoprocessamento podem ser aplicados em diversas áreas dentro do campo ambiental; como no mapeamento de recursos hídricos, identificação de ilhas de calor, mensuração de impactos ambientais, entre outros. Seja qual for essa aplicação, ambos se apresentam como alinhados importantes para estudos dessa natureza, por permitirem obter informações que muitas vezes não conseguiriam ser adquiridas com precisão por outros métodos, possibilitando também combiná-las e correlacioná-las para obter as informações desejadas.

Por exemplo, Bilich e Lacerda (2005) utilizaram o geoprocessamento alinhado à um estudo sobre a qualidade das águas. As ferramentas foram utilizadas para criação de mapas de interesse, usados para avaliar a distribuição dos valores de Índice de Qualidade da Água (IQA) em vários pontos do Distrito Federal e assim fornecer subsídios para estudos de sustentabilidade quanto ao uso dos recursos hídricos na região.

Outro exemplo interessante é referente ao trabalho de Lopes e Silva (2020), que utilizaram o geoprocessamento alinhado à chamada álgebra booleana para determinar áreas aptas à instalação de aterro sanitário no município de Campina Verde – MG. Esse estudo é de suma importância para o contexto ambiental brasileiro, visto as problemáticas atuais na área de resíduos sólidos, envolvendo a implantação de aterros sanitários nos municípios brasileiros e a necessidade de encontrar áreas aptas para sua instalação.

Existem também estudos que aplicam os índices de vegetação como forma de avaliação da qualidade vegetativa e suas implicações na qualidade ambiental e impactos ambientais de um local. Silva e Silva (2021) por exemplo, utilizaram as imagens obtidas por sensoriamento remoto e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para avaliar a variação da densidade vegetativa ao longo de 10 anos em uma área de mineração em Paracatu – MG, relacionando as variações obtidas pelo índice com os impactos ambientais ocasionados pela atividade.

### 3.4. ÍNDICES ESPECTRAIS

#### 3.4.1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

O *Normalized Difference Vegetation Index*, em português Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, é um índice proveniente da razão entre a diferença e a soma das bandas do infravermelho próximo e do vermelho (FONTANA *et al.*, 2015).

A utilização das bandas do vermelho e infravermelho próximo no cálculo é explicada pelos comprimentos de onda absorvidos e refletidos pelas plantas. Segundo Meneses *et al.* (2012), a banda centrada na região do vermelho visível é a principal absorvida pelas plantas, enquanto a maior região de refletância está no infravermelho próximo.

Fonseca *et al.* (2018) diz que o princípio físico do índice é baseado no que podemos chamar de assinatura espectral das plantas. A partir do NDVI, é possível determinar a densidade foliar fotossinteticamente ativa de uma área, pois quanto maiores forem os valores desse índice, mais densa é a fitomassa verde do local (MELO *et al.*, 2011).

Meneses *et al.* (2012) comentam que os valores obtidos apresentam dados linearmente proporcionais à biomassa observada; sendo esse índice considerado mais apropriado que outros, quando o intuito é realizar comparações ao longo de uma série temporal para uma determinada área, pois o esperado é que o índice seja menos influenciado por condições atmosféricas variáveis.

Os valores de NDVI estão compreendidos entre -1 e +1, sendo o valor mais próximo de 1 indicativo de áreas de vegetação mais densa, enquanto que os valores negativos correspondem a áreas que não possuem vegetação, indicando água por exemplo; já os valores mais próximos de zero são referentes a solos expostos (MENESES *et al.*, 2012).

### 3.4.2. ÍNDICE DE REFLETÂNCIA FOTOQUÍMICA (PRI)

O *Photochemical Reflectance Index* (PRI), em português Índice de Refletância Fotoquímica, é um índice desenvolvido por Rahman *et al.* (2000), que detecta as mudanças que ocorrem nos pigmentos carotenoides da folhagem, que atuam como receptores de radiação para a fotossíntese (SOUZA *et al.*, 2017). Por conta disso, o índice consegue indicar a eficiência da luz no processo fotossintético, permitindo também mensurar o quanto de CO<sub>2</sub> é armazenado pela folhagem (FOLHARINI E OLIVEIRA, 2017).

O cálculo do índice é realizado pela razão da diferença entre as bandas do azul e do verde, isso por conta da feição de absorção existente para a banda azul e do pico de refletância para a banda verde (GAMON *et al.*, 1997 apud SILVA E BAPTISTA, 2015). Assim como o NDVI, os valores obtidos variam entre -1 e 1 (FOLHARINI E OLIVEIRA, 2017); mas Rahman *et al.* (2000) colocam que para o cálculo do sequestro de carbono pela vegetação, os valores do índice devem ser reescalados.

Segundo Santos e Souza (2018), busca-se através do processo de reescalonamento, normalizar a vegetação verde e corrigir a fração iluminada no uso da luz durante o processo de fotossíntese. Ao índice reescalado, dá-se o nome de *Photochemical Reflectance Index rescheduled for positive values* (sPRI), em português Índice de Refletância Fotoquímica reescalado para valores positivos (SANTOS E SOUZA, 2018), cujos valores variam entre 0 e 1 (BAPTISTA, 2004).

### 3.4.3. CO<sub>2</sub>FLUX

O chamado Índice CO<sub>2</sub>flux é um método comumente utilizado para estimar a eficiência do processo de absorção de carbono pela vegetação através de sua atividade fotossintética. Ou seja, quanto maiores os valores obtidos nesta estimativa, significa que maior é a eficiência do processo e, portanto, maior é a absorção de CO<sub>2</sub> pelas plantas através da fotossíntese.

O índice foi proposto por Rahman *et al.* (2000) e utiliza o NDVI e o PRI reescalado (sPRI) para o cálculo de seus valores. Ambos os índices são combinados devido ao que cada um deles avalia. O NDVI por exemplo, avalia a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação verde (RAHMAN *et al.*, 2000), enquanto o PRI aponta o uso eficiente da radiação solar visível pela fotossíntese (GAMON *et al.*, 1997 apud SILVA E BAPTISTA, 2015).



No Brasil, o índice tem sido bastante utilizado para avaliar o sequestro de carbono pela vegetação na Amazônia, como nos estudos realizados por Silva e Baptista (2015) e no de Almeida e Rocha (2018). Para a validação dos resultados obtidos, Silva e Baptista (2015), a exemplo do próprio estudo de Rahman *et al.* (2000) que propôs essa metodologia, utilizam valores de medições de CO<sub>2</sub> atmosférico realizados por torres micrometeorológicas adjacentes às áreas de interesse. Por isso, apesar de se tratar de um valor adimensional, os autores utilizam mol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> como unidade de medida para o índice.

No entanto, para biomas como o Cerrado, a metodologia ainda não foi aplicada e, portanto, um estudo que estabeleça uma relação quantitativa entre o índice e o CO<sub>2</sub>flux em mol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> permanece inexistente para o bioma, além da inexistência de torres semelhantes para realizar medições comparativas. Por este motivo, os valores quantitativos do índice serão tratados de forma adimensional neste estudo. Em contrapartida, Baptista (2003) realizou um estudo de validação da modelação de sequestro de carbono e sugeriu que há possibilidade de utilizar a metodologia proposta por Rahman *et al.* (2000) nas áreas de Cerrado.

Alguns poucos estudos realizados para o Cerrado tratam especificamente da relação entre as queimadas e o sequestro de Carbono, como o de Teobaldo e Baptista (2016) e de Nunes (2021). Dado esse contexto, torna-se importante a realização de estudos utilizando a metodologia de Rahman *et al.* (2000), para entender como são as dinâmicas de absorção de carbono no Cerrado e quais as interferências de fatores como as mudanças de uso e ocupação do solo e as variáveis meteorológicas nesse processo.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DOS DADOS UTILIZADOS

Inicialmente, definiu-se a área de estudo, correspondente aos limites legais do município de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil; considerando toda a sua área rural e urbana. Após, definiu-se também a série temporal de estudo, que deveria abranger um período de tempo suficiente para obter uma quantidade de dados satisfatórios, que permitissem a observação das variações de CO<sub>2</sub>flux no decorrer dos anos e sua análise. Assim, optou-se por um período de 15 anos, iniciando em 2006 e findando em 2020.

Ainda pensando no conjunto de dados, determinou-se que para cada ano desta série temporal seriam escolhidos três meses distintos distribuídos ao longo do ano, com o intuito de observar as variações sazonais de absorção de carbono pelas plantas e os efeitos das variações meteorológicas nesse processo. Devido à existência de alta nebulosidade nas épocas mais chuvosas do ano (entre novembro e março), os meses a serem escolhidos deveriam estar compreendidos entre abril e outubro. Sendo assim, observando um espaçamento igual entre os três meses a serem escolhidos, optou-se pela utilização de abril, julho e outubro. Considerando também o fator da presença de nuvens para a época entre abril e outubro, foram utilizadas imagens de satélite cuja nebulosidade estava abaixo de 30%, a fim de não comprometer os resultados.

Apesar disso, tais condições não foram possíveis para toda a série temporal, e por isso, para alguns anos foram utilizadas imagens de meses adjacentes aos determinados anteriormente, mas evitando a geração de discrepâncias consideráveis que poderiam afetar os valores finais de CO<sub>2</sub>flux. Assim, para alguns deles foram utilizadas imagens de junho, setembro e também novembro.

Determinadas todas essas condições, os satélites da série Landsat foram escolhidos para obtenção das imagens, sendo eles Landsat 5 e Landsat 8. As imagens foram obtidas por meio do site do *United States Geological Survey* (USGS), em português Serviço Geológico dos Estados Unidos e correspondem à *Landsat Collection 2 Level-2*, coleção cujas imagens de satélite já passaram previamente por procedimentos de correção atmosférica antes de serem disponibilizadas no site.

Considerando então todos os critérios anteriormente citados, as datas de todas as imagens de satélite obtidas estão expostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Datas das imagens de satélite utilizadas.

Ano	Datas	Ano	Datas	Ano	Datas
2006	21 de abril	2011	19 de abril	2016	16 de abril
	26 de julho		08 de julho		21 de julho
	28 de setembro		26 de setembro		09 de outubro
2007	24 de abril	2012	-	2017	19 de abril
	27 de junho		-		24 de julho
	01 de outubro		-		12 de outubro
2008	26 de abril	2013	24 de abril	2018	22 de abril
	15 de julho		29 de julho		27 de julho
	01 de setembro		02 de novembro		13 de setembro
2009	29 de abril	2014	27 de abril	2019	25 de abril
	18 de julho		16 de julho		14 de julho
	20 de setembro		04 de outubro		02 de outubro
2010	16 de abril	2015	30 de abril	2020	11 de abril
	05 de julho		19 de julho		16 de julho
	09 de outubro		07 de outubro		19 de setembro

Fonte: O Autor (2021).

#### 4.1.1. CARACTERÍSTICAS DOS DADOS DOS SATÉLITES

A série Landsat teve seu início na década de 60, graças a um projeto desenvolvido pela NASA, tendo o primeiro satélite, o Landsat 1, sido lançado no ano de 1972 (INPE, 2021). Desde então, novos satélites foram lançados, com diferentes sensores e novas tecnologias para tornar ainda melhor o processo de obtenção de imagens da superfície terrestre.

O mais recente dessa série é o satélite Landsat 8, lançado em 2013 e escolhido para a obtenção das imagens deste trabalho. Além dele, escolheu-se também o satélite Landsat 5, lançado em 1984 e que operou até meados de 2013. (INPE, [s.d.]). A órbita de ambos os satélites está a uma altitude de 705 km, com um período de revisita de 16 dias e cada um com dois sensores a bordo.

O Landsat 5 possuía os sensores *Multispectral Scanner System* (MSS) e *Thematic Mapper* (TM), enquanto que o Landsat 8 possui o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal*

*Infrared Sensor* (TIRS) (INPE, 2021). As imagens utilizadas nesta pesquisa são provenientes dos sensores TM e OLI, cada um com uma resolução espacial de 30 m para as bandas utilizadas, sendo elas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo (EMBRAPA, 2021).

Alguns fatores relacionados aos sensores dos satélites acabaram por interferir em relação às imagens de satélite utilizadas na pesquisa. O primeiro deles refere-se à quais imagens de satélite seriam utilizadas. A intenção inicial era usar um mesmo satélite para obter as imagens para toda a série temporal; dessa forma, elas seriam provenientes do satélite Landsat 7, que operou ao longo de toda a série escolhida e, portanto, possuía imagens para todos os anos de interesse.

Porém, durante a busca pelas imagens no site do USGS, descobriu-se que aquelas provenientes do satélite Landsat 7 apresentavam uma quantidade considerável de lacunas de dados. Segundo o site MundoGEO (2003) e o site do próprio USGS, o problema foi causado por uma falha no sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), ocorrida no dia 31/05/2003 e que afetou a qualidade das imagens obtidas pelo satélite a partir de então. Apesar dessas imagens estarem disponíveis no site e poderem ser utilizadas para algumas finalidades, pelo fato de estarem parcialmente comprometidas, elas se apresentaram inviáveis para este trabalho, visto que a área de estudo é consideravelmente grande, e sofreria interferência das lacunas de dados.

Sendo assim, a alternativa encontrada seria utilizar dois satélites da série Landsat ou outros satélites disponíveis. A primeira opção foi a mais viável dadas as características do estudo, especialmente pela sua série temporal longa. Isso se deve pelo fato dos satélites da série Landsat operarem ininterruptamente por um período de tempo considerável, enquanto que outros satélites possuem um tempo de vida mais curto e apresentam resoluções inferiores e bandas fora dos comprimentos de onda de interesse. Por fim, optou-se pela utilização dos satélites Landsat 5 e Landsat 8.

Por conta dessa problemática, a série temporal acabou desfalcada para o ano de 2012, pois o satélite Landsat 7 era o único que apresentava imagens referentes a esse ano. O satélite Landsat 8 começou a operar em 2013, enquanto que o satélite Landsat 5, apesar de ter operado até meados de 2013, não apresentou imagens disponíveis para o ano de 2012 devido também a falhas no sensor, segundo a USGS.

## 4.2. CÁLCULO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS

Seguindo a metodologia proposta por Rahman *et al.* (2000), utilizou-se as imagens de satélite obtidas e o *software* QGIS para efetuar o cálculo dos índices espectrais, através da ferramenta chamada calculadora *raster*. O primeiro índice calculado foi o NDVI, apresentado pela Equação 1, que utiliza as bandas do infravermelho próximo e do vermelho:

$$NDVI = \frac{(IVP-VR)}{(IVP+VR)} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

IVP = comprimento de onda do infravermelho próximo;

VR = comprimento de onda do vermelho.

As bandas do infravermelho próximo e do vermelho correspondem respectivamente às bandas B4 e B3 no satélite Landsat 5 e às bandas B5 e B4 no satélite Landsat 8. Em seguida, calculou-se o PRI, utilizando-se a Equação 2, que utiliza as bandas do azul e do verde:

$$PRI = \frac{(A-VD)}{(A+VD)} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

A = comprimento de onda do azul;

VD = comprimento de onda do verde.

As bandas do azul e do verde correspondem respectivamente às bandas B1 e B2 no satélite Landsat 5 e às bandas B2 e B3 no satélite Landsat 8. Com o intuito de representar o PRI como uma medida de eficiência, é necessário reescalonar os valores de PRI, de modo que eles fiquem positivos. O procedimento foi feito através da Equação 3:

$$sPRI = \frac{(PRI+1)}{2} \quad \text{Equação 3}$$

Por fim, os valores calculados de NDVI e sPRI, foram utilizados para determinação do CO<sub>2</sub>flux, através da Equação 4:

$$CO_2flux = (NDVI * sPRI)$$

*Equação 4*

Neste cálculo, os valores positivos indicam o grau de eficiência da absorção do carbono. Quanto maiores forem estes valores, mais eficiente é essa absorção de CO<sub>2</sub> pela vegetação; ao passo que quanto menores estes valores positivos, menor também é essa eficiência. Já os valores negativos indicam que não há eficiência no processo, ou seja, não há absorção de carbono.

#### 4.3. COMPARAÇÃO ENTRE VALORES DE CO<sub>2</sub>FLUX E DADOS METEOROLÓGICOS E DE COBERTURA DO SOLO

Os valores de CO<sub>2</sub>flux calculados para cada data da série temporal foram comparados, a fim de observar as variações ocorridas ao longo do ano. Para isso, utilizando a ferramenta “Estatísticas Zonais” do *software* QGIS, foram obtidos os valores máximo, mínimo e médio de CO<sub>2</sub>flux. Além disso, calculou-se também o 1º e 3º quartis, além da mediana, a fim de representar os dados por meio de um gráfico tipo *box plot*.

Os resultados obtidos também foram relacionados e discutidos com base em dados de variáveis meteorológicas obtidos pelo site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados de uso e cobertura do solo obtido pelo site do Mapbiomas Brasil. A fim de identificar qual a relação entre esses dados meteorológicos e os valores de CO<sub>2</sub>flux, calculou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson (R).

Segundo Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), esse coeficiente trata-se de uma medida de associação linear entre variáveis, cujo aumento ou decréscimo de uma variável gera o mesmo impacto em outra. Ainda segundo os autores, o coeficiente varia entre -1 e 1, sendo que, quando estes valores extremos são obtidos, significa que existe uma correlação perfeita entre as variáveis.

##### 4.3.1. DADOS METEOROLÓGICOS

Com relação aos dados meteorológicos, foi utilizada a estação automática do INMET localizada no campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), cuja operação se iniciou no ano de 2002. Apesar de apresentar dados acurados para os anos mais recentes, a estação apresenta falhas consideráveis em dados dos primeiros anos de operação. Porém, tais falhas afetaram apenas a obtenção de alguns dos dados meteorológicos para as datas

referentes ao ano de 2008. Apesar disso, foi possível obter informações mínimas necessárias para discussão dos resultados.

As variáveis meteorológicas utilizadas na pesquisa compreendem dados de temperatura, precipitação, umidade relativa do ar e radiação solar. Todas as variáveis utilizadas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis meteorológicas utilizadas na correlação com os valores de CO<sub>2</sub>flux.

Dados	Variáveis
Precipitação	Precipitação acumulada de 7 dias (mm)
	Precipitação acumulada de 30 dias (mm)
Temperatura	Temperatura máxima diária (°C)
	Temperatura média diária (°C)
Umidade relativa do ar	Umidade relativa do ar média diária (%)
	Umidade relativa do ar média de 30 dias (%)
Radiação solar	Somatória da radiação solar total diária (KJ/m <sup>2</sup> )
	Somatória da radiação total de 30 dias (KJ/m <sup>2</sup> )

Fonte: O Autor (2021).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. COMPORTAMENTO DOS VALORES DE CO<sub>2</sub>FLUX AO LONGO DA SÉRIE TEMPORAL

Utilizando-se da ferramenta intitulada “Estatísticas Zonais”, presente no *software* QGIS, obteve-se por meio dos mapas gerados as informações necessárias para a análise. Tais informações correspondem à valores de CO<sub>2</sub>flux para todos os anos da série temporal, sendo eles: valores máximos, mínimos e médios.

Para que as informações obtidas pudessem ser comparadas de uma maneira mais representativa, optou-se pela criação de um gráfico no formato *box plot* (Figura 4), que contempla as informações de valores máximos, mínimos e médios e os quartis, calculados com base nos valores de CO<sub>2</sub>flux dos pixels de cada imagem.



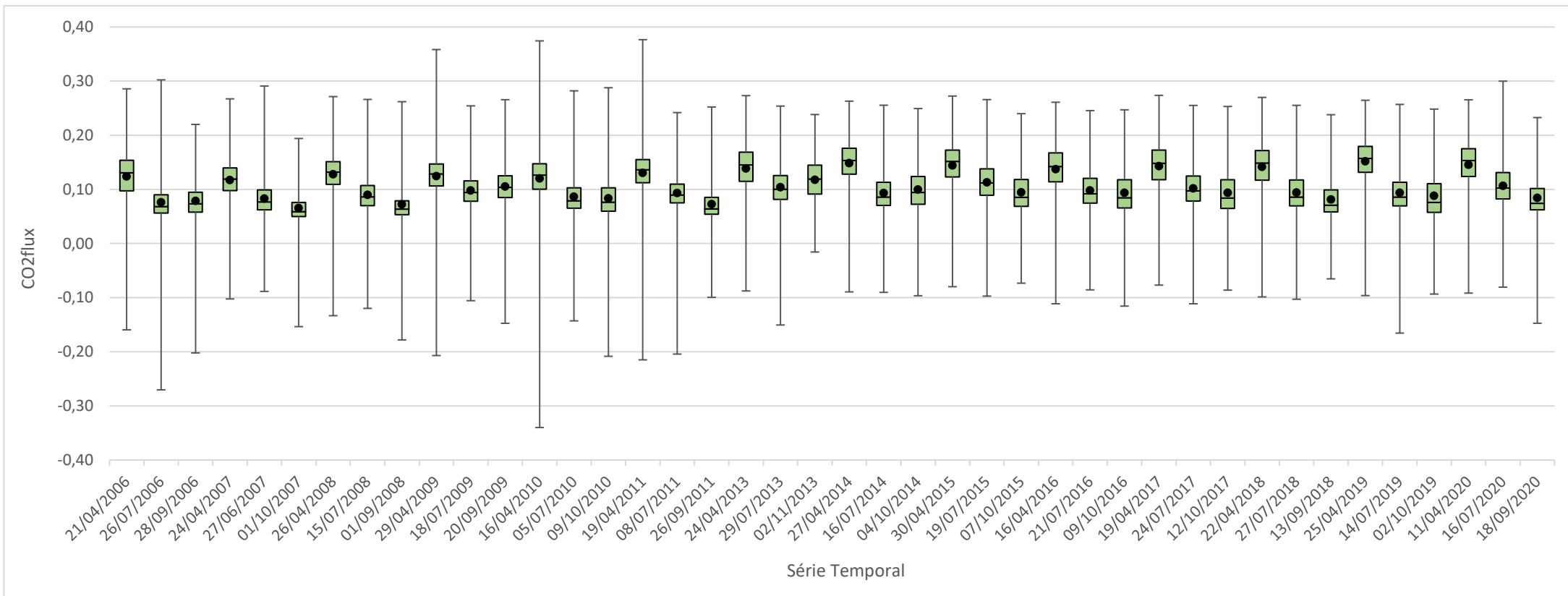


Figura 4 – Box plot dos dados de CO<sub>2</sub>flux obtidos.

Fonte: O Autor (2021).

Os meses utilizados na série temporal estão compreendidos entre abril e outubro de cada ano, com exceção de 2013, onde foi utilizado o mês de novembro. Isso ocorreu pelo fato do período mais chuvoso (entre novembro e março) apresentar altos índices de nebulosidade, impedindo a utilização das imagens de satélite obtidas neste período.

A Figura 4 permite fazer algumas observações interessantes sobre os valores de CO<sub>2</sub>flux obtidos. Observando a mediana, o primeiro e terceiro quartis, nota-se que, os valores concentrados entre os quartis para as datas relativas ao mês de abril são mais altos do que os valores concentrados entre os quartis de 25% e 75% para os outros meses. Para as datas do mês de abril, tais valores variaram entre 0,119 e 0,157, enquanto que para os meses de junho/julho variaram entre 0,068 e 0,112 e para setembro/outubro/novembro variaram entre 0,059 e 0,119.

Além disso, quando se observa mais detalhadamente os quartis para as datas do mês de abril, percebe-se que eles são praticamente simétricos entre si; o que não acontece nos outros meses, que apresentaram um quartil maior que o outro. Isso indica que abril apresentou valores mais bem distribuídos e com uma variabilidade maior. Tal fato pode ter acontecido por abril ser um mês de transição entre estações, no qual pode ou não chover, enquanto que os demais estão localizados na época mais seca do ano, no qual é mais difícil que ocorra precipitação.

Os valores máximos e mínimos exibidos pelo gráfico mostram a amplitude existente entre os valores de CO<sub>2</sub>flux. Eles não podem ser considerados suficientemente significativos, pois podem representar uma parcela muito pequena dos valores de pixel de uma imagem, podendo corresponder por exemplo, a apenas uma dezena de pixels em um universo de milhares deles dentro de cada imagem.

As datas de 29/04/2009, 16/04/2010 e 19/04/2011 apresentaram os maiores valores máximos dentre as datas da série temporal, com 0,358, 0,374 e 0,377 respectivamente. Isso se deve provavelmente, por conta de alguns pontos que podem ter apresentado uma formação vegetal consideravelmente mais saudável e mais fotossinteticamente ativa e, por isso, apresentou maiores valores de absorção de carbono; já que o índice CO<sub>2</sub>flux é estimado baseando-se na atividade fotossintética das plantas.

Com relação aos valores mínimos, é possível observar uma diferença considerável entre os valores de cada data da série. As datas de 26/07/2006, 16/04/2010 e 19/04/2011 foram as que apresentaram menor valor mínimo de CO<sub>2</sub>flux, com -0,270, -0,340 e -0,215 respectivamente; embora outras datas também apresentaram um valor mínimo

consideravelmente baixo, como por exemplo os dias 28/09/2006, 29/04/2009, 09/10/2010 e 08/07/2011; com -0,202, -0,207, -0,208 e -0,204 respectivamente.

Estes valores mínimos, juntamente com os demais valores negativos, podem ser ocasionados por dois fatores principais: presença de superfícies não vegetativas e nuvens. Dentro das superfícies não vegetativas, pode-se destacar a presença da água, correspondente à corpos d'água, tais como rios e lagos. Segundo Novo e Ponzoni (2001), os corpos d'água apresentam níveis de refletância diferentes de outros alvos, apresentando uma porcentagem de energia refletida menor.

Assim, os sensores de satélite conseguem capturar os diferentes níveis de refletância e dessa forma, diferenciar os alvos (ROSA, 2013). Esses valores de refletância são utilizados no cálculo dos índices espectrais NDVI e sPRI e, conseqüentemente, acabam influenciando nos valores finais de CO<sub>2</sub>flux. Dessa forma, os valores para os pixels que representam a água acabam sendo negativos.

Mas além da água, outro tipo de superfície não vegetativa corresponde às construções e edificações existentes no meio urbano, e que são consideráveis para esta discussão devido ao tamanho da malha urbana do município de Uberlândia. Como a pesquisa contempla todo o limite do município, o perímetro urbano também é considerado na coleta de valores de absorção de carbono. Os diferentes materiais utilizados nas construções urbanas possuem também diferentes valores de refletância (MOREIRA *et al.*, 2007). Dessa forma, acontece o mesmo que com a água, em que uma vez calculados os índices, apresentam valores negativos.

Outro fator que ocasionou valores semelhantes, diz respeito às pequenas nuvens esparsas presentes em algumas das imagens de satélite. A radiação eletromagnética que incide nessas nuvens pode ser barrada pelas moléculas que as compõem e refletida de volta para o espaço ou espalhada para outras direções na atmosfera (ROSA, 2013; WELTER *et al.*, 2020).

Assim como para a água e as outras superfícies não vegetativas, as nuvens vão apresentar níveis de refletância diferentes dos níveis vegetativos. Uma vez calculados os índices através das imagens de satélite, os pixels referentes às nuvens apresentam valores tanto negativos quanto valores positivos bem próximos de zero, a depender o percentual de radiação refletido pela nuvem naquele momento. Assim, as circunstâncias e fatores mencionados justificam esses valores obtidos para o índice e ainda as variações existentes entre os valores mínimos entre cada data da série temporal.

Da mesma forma, como comentado acima sobre os quartis, as médias apresentaram comportamento semelhante. Os valores médios de CO<sub>2</sub>flux foram maiores para o mês de abril para todos os anos da série temporal, ao passo que os valores dos meses de julho, setembro e outubro foram semelhantes entre si, embora os valores de julho tenham sido levemente maiores.

Dentre todos os valores médios de CO<sub>2</sub>flux da série temporal, as maiores médias foram obtidas para as datas de 25/04/2019, 27/04/2014, 11/04/2020, com 0,152, 0,148 e 0,145 respectivamente. Embora outras datas também apresentaram valores próximos, como 0,144 para 30/04/2015, 0,143 para 19/04/2017 e 0,141 para 22/04/2018. Já os menores valores médios concentraram-se nos anos iniciais da série, com 0,065 para 01/10/2007, 0,072 para 01/09/2008 e 0,076 para 26/07/2006.

Essa diferença existente entre os valores de abril para os outros meses pode ser explicada pelas variações climáticas entre as diferentes estações. Aquino e Oliveira (2012) colocam que, as oscilações existentes entre as estações úmida e seca ao longo do ano e também entre os diferentes anos podem apresentar condições de maior ou menor frescura, influenciando de maneira direta no comportamento fenológico das plantas.

Também deve-se recordar que, a alta taxa de nebulosidade apresentada entre novembro e março, fez com que estes meses não entrassem na série temporal deste estudo, pois não seria possível obter valores confiáveis devido à grande quantidade de nuvens. Sendo assim, apesar de abril ter apresentado os maiores valores para a série temporal utilizada, ele não necessariamente corresponde aos maiores valores de CO<sub>2</sub>flux que podem ocorrer ao longo do ano, tendo em vista que a estação chuvosa costuma apresentar melhores condições para a atividade fotossintética da planta.

Por exemplo, Santos e Souza (2018) obtiveram em seu estudo, valores médios de CO<sub>2</sub>flux de 0,34 para o mês de dezembro (estação chuvosa) e 0,22 para o mês de julho (estação seca). Já Vourlitis *et al.* (2004) realizaram seu estudo em uma área de floresta no Mato Grosso, com a presença de uma torre micrometeorológica para validação dos resultados, e observaram uma absorção maior de carbono no período chuvoso, além de constatarem uma diferença entre o início e o final das estações seca e chuvosa, no qual a vegetação aumentou a absorção de carbono no final da estação seca e diminuiu no final da estação chuvosa. Assim, um padrão parecido poderia ser esperado para o Cerrado, caso fossem utilizados meses da época chuvosa no presente estudo.

Segundo Ribeiro e Walter (1998), o Cerrado possui uma variação climática característica ao longo do ano, com uma época mais fria e seca no período do inverno e outra mais quente e com grande volume de precipitação no verão. Silva e Ferreira (2013) comentam que, para este bioma, mais de 70% da chuva total acumulada ao longo do ano se precipita entre novembro e março, com os maiores valores de precipitação ocorrendo entre dezembro e fevereiro.

Isso leva a outro ponto, referente à disponibilidade hídrica. Para sobreviver e crescer, as plantas necessitam de uma quantidade adequada de água, para manter seus processos biológicos funcionando. Conseqüentemente, para que isso ocorra de fato, é necessário que haja um regime adequado de chuva, cuja precipitação não seja insuficiente e nem excessiva, a ponto de prejudicar a planta.

Além disso, a radiação solar apresenta-se como fator importante nesta discussão, pois a planta necessita dela para o processo de fotossíntese. Os valores de radiação que chegam a um determinado local são influenciados por fatores astronômicos, atmosféricos e geográficos; tais como: movimentos de rotação e translação da Terra, declinação solar, ângulo horário, interação com gases atmosféricos, latitude, variações de altitude e declividade (IQBAL, 1983 apud ZAMADEI, 2015).

Sendo assim, o desenvolvimento das plantas pode ser influenciado por diferentes condições ambientais, que são variadas ao longo do ano, tais como as condições meteorológicas, como por exemplo a temperatura, precipitação, umidade do ar e radiação solar.

## 5.2. RELAÇÃO ENTRE CO<sub>2</sub>FLUX E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Com o intuito de comparar os valores de CO<sub>2</sub>flux calculados com algumas variáveis meteorológicas, foram coletados dados das variáveis de interesse através do site do INMET. Esses dados obtidos pela estação meteorológica automática da UFU foram, além de comparados, correlacionados com os valores médios de CO<sub>2</sub>flux. A primeira correlação foi feita utilizando os dados de temperatura. Para isso, foram usados os valores de temperatura do ar média e máxima para cada data da série temporal.

As temperaturas médias dos anos finais da série temporal se mostraram maiores do que as temperaturas dos anos iniciais. Elas também foram maiores para os meses de setembro e outubro, além de novembro para o ano de 2013. Petrucci (2018) expõe em seu estudo que os

meses de outubro e fevereiro são os mais quentes para Uberlândia. Embora fosse esperado que os meses de dezembro e janeiro apresentassem temperaturas maiores, tendo em vista a maior radiação solar que chega até a atmosfera terrestre nessa época do ano.

No entanto, o fato de outubro apresentar maiores temperaturas pode ser explicado pelos níveis de nebulosidade, que segundo Silva e Assunção (2004) são mais altos para dezembro e janeiro. Ainda segundo os autores, a baixa nebulosidade contribui para acentuar a incidência direta de radiação, o que acaba por aumentar a temperatura.

As maiores temperaturas médias foram registradas para as datas de 12/10/2017, 18/09/2020 e 02/10/2019, sendo de 29°C, 28,7°C e 28,4°C respectivamente. Além disso, deve-se destacar a ausência de dados para as datas referentes ao ano de 2008, que não foram possíveis de se obter devido a falhas ocorridas na estação meteorológica utilizada.

O coeficiente de Person calculado entre as variáveis CO<sub>2</sub>flux e temperatura média do ar diária foi de apenas -0,08. Pelo fato do valor se aproximar muito do 0, dentro da escala de valores do coeficiente, conclui-se que não existe correlação entre essas duas variáveis (FIGUEIREDO FILHO E SILVA JÚNIOR, 2009).

Considerando os dados de temperatura máxima diária, os maiores valores dessa variável ocorreram em sua maioria, nas datas referentes aos meses de setembro e outubro de cada ano, e em novembro para o ano de 2013. Tal padrão é igual ao observado para as temperaturas médias diárias anteriormente comentadas, e pode ser explicado pelos mesmos argumentos expostos por Petrucci (2018) e Silva e Assunção (2004).

Foi possível perceber que as temperaturas máximas dos anos finais da série temporal são maiores do que as dos anos iniciais (Figura 5), assim como ocorreu com as temperaturas médias; inferindo a existência de uma variação de temperatura considerável ao longo da série, cujos valores referentes aos meses finais do ano foram aumentando com o passar do tempo.

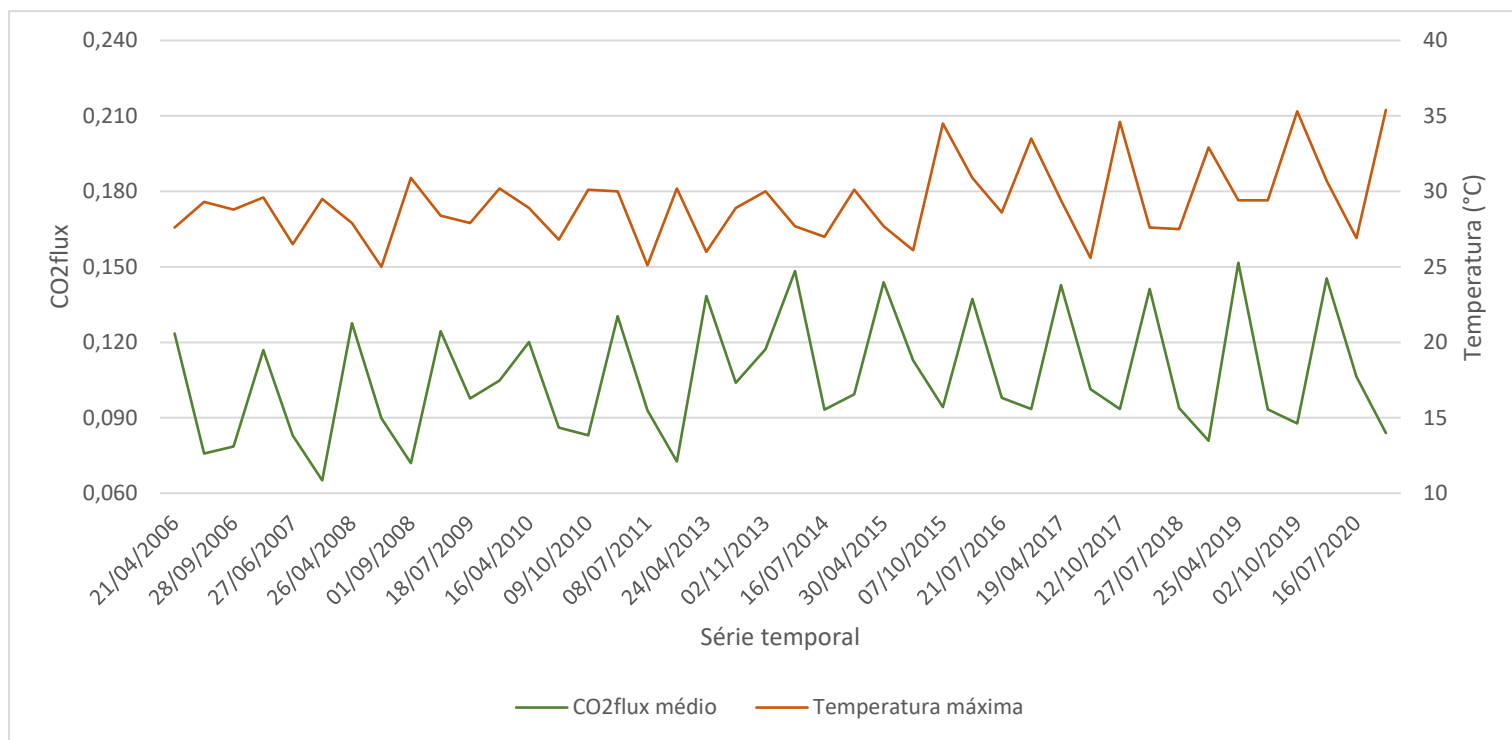


Figura 5 - Valores de CO<sub>2</sub>flux médio e temperatura máxima para a série temporal.

Fonte: O Autor (2021).

O coeficiente de Pearson calculado revelou uma correlação de -0,21 entre o CO<sub>2</sub>flux e a temperatura máxima diária. O sinal negativo do valor indica que se trata de uma correlação inversa, ou seja, quanto maior a temperatura máxima em um determinado dia, menor seria o valor de CO<sub>2</sub>flux; enquanto o baixo valor indica que esta correlação é fraca (FIGUEIREDO FILHO E SILVA JÚNIOR, 2009).

Essa baixa correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux e temperatura média e máxima diária pode ser explicada por Bergamaschi (2007), que comenta que cada espécie vegetal possui limites térmicos superior e inferior de sobrevivência que influenciam no seu metabolismo. Segundo o autor, as plantas respondem à temperatura do ar na forma de soma térmica, ou seja, pelo acúmulo de graus ao longo do dia.

Baseado nesse argumento, é possível que quando a temperatura apresenta valores mais altos ao longo do dia, a soma térmica é maior e esse valor pode extrapolar os limites superiores de várias espécies; isso conseqüentemente ocasiona influência negativa às plantas, podendo segundo o autor, paralisar o metabolismo vegetativo por estresse ocasionado pelo calor.

O mesmo pode ocorrer na época de temperaturas mais baixas, ocasionando nesse caso o estresse por frio. Ou seja, existe uma temperatura média ideal para cada espécie vegetal, que é benéfica para o seu metabolismo e atividade fotossintética. Como esse valor não é o mesmo para todas as plantas, uma certa temperatura pode beneficiar algumas espécies enquanto prejudica outras.

Como a atividade fotossintética de uma planta não sofre interferência apenas da temperatura, outros fatores devem ser analisados. Santos e Souza (2018) destacam os três componentes básicos para o processo de fotossíntese: radiação solar, gás carbônico e água; mas dão um enfoque maior neste último, argumentando em especial sobre a influência da umidade na atividade fotossintética e o regime de chuvas no comportamento espectral da vegetação.

Pensando nisso, analisou-se dois tipos de dados obtidos para umidade relativa do ar. O primeiro deles é referente à umidade relativa do ar média diária para cada data da série temporal, enquanto o segundo corresponde à umidade relativa do ar média de 30 dias; sendo ambos os valores dados na forma de porcentagem (%).

Os dados de umidade relativa do ar (Figuras 6 e 8) apresentaram um padrão parecido com os dados do INMET para a normal climatológica de 1981 a 2010. A umidade relativa do ar foi maior para as datas do mês de abril, que apesar de não ser o mês mais úmido do ano segundo a normal climatológica, apresentou os maiores valores desta análise, pelo fato dos meses mais úmidos não terem sido utilizados na pesquisa. Já as demais datas, referentes aos meses de junho ou julho e setembro ou outubro, estão localizadas no período mais seco do ano, no qual é esperado que os valores de umidade sejam de fato menores.

No entanto, deve-se levar em conta que o primeiro conjunto de dados de umidade relativa do ar traz valores diários referentes exatamente ao dia da imagem de satélite utilizada. Ou seja, mesmo que a normal climatológica indique maiores valores dessa variável no verão e menores no inverno, ambas as épocas do ano podem ter registrado valores discrepantes em determinadas datas, que fogem do padrão esperado. A citar como exemplo, tem-se o dia 20/09/2009 com uma UR de 71,50%, mais alta do que os 61,38% de abril do mesmo ano (29/04/2009).



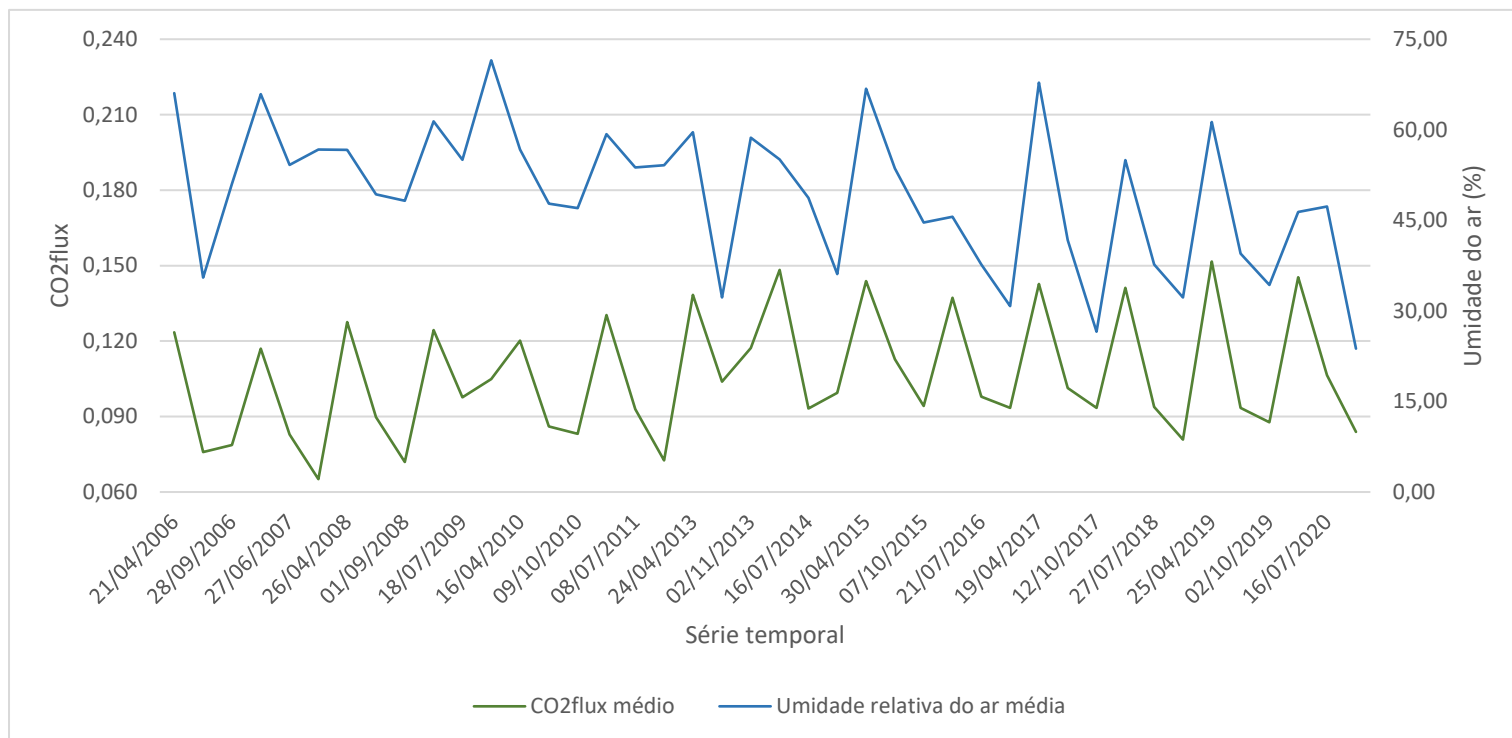


Figura 6 – Valores de CO<sub>2</sub>flux médio e umidade relativa do ar média para a série temporal.

Fonte: O Autor (2021).

Os maiores valores de umidade relativa do ar média foram registrados nos dias 20/09/2009 com 71,50%, 19/04/2017 com 67,79% e 30/04/2015 com 66,79%. Já os menores valores foram registrados em 18/09/2020 com 23,75%, 12/10/2017 com 26,54% e 09/10/2016 com 30,79%.

Alguns desses dias que apresentaram maior umidade do ar média também tiveram valores de CO<sub>2</sub>flux mais altos; e alguns dos que apresentaram menor umidade também tiveram valores de absorção de carbono menores. Neste caso, quando se calcula o coeficiente de Pearson, obtêm-se uma correlação de 0,50 entre as variáveis, o que segundo Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), pode ser classificada como moderada. Além disso, o valor indica uma correlação positiva, o que significa que quando a umidade aumenta, há também o aumento do valor de CO<sub>2</sub>flux. A correlação entre os dados pode ser vista na Figura 7.

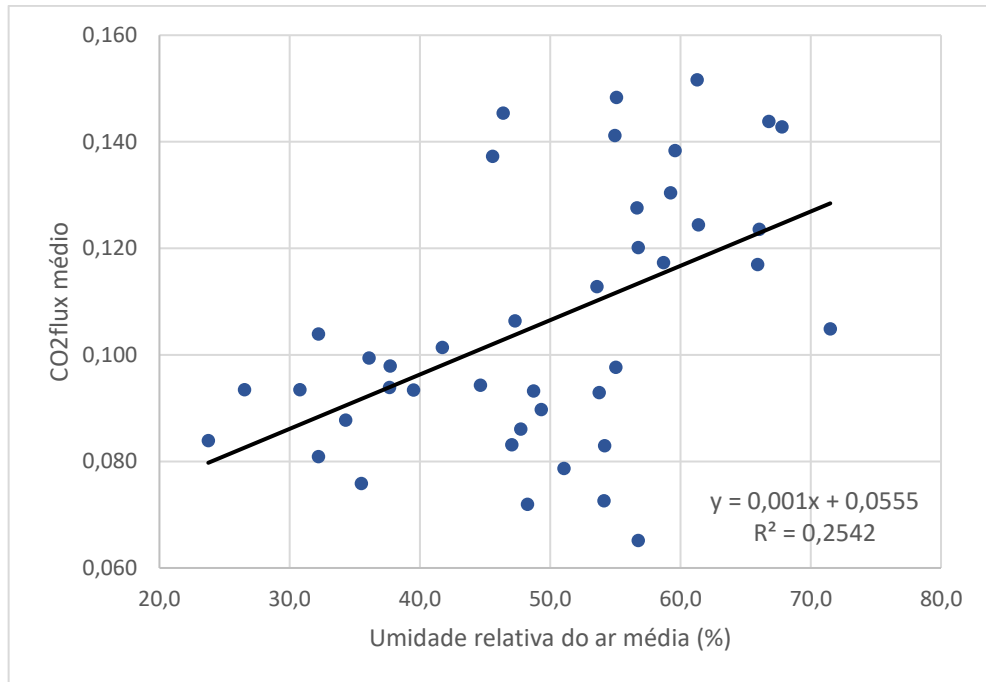


Figura 7 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio e umidade relativa do ar média.

Fonte: O Autor (2021).

Além disso, observou-se também o comportamento da umidade relativa do ar média de 30 dias, disposta na Figura 8 juntamente com os dados médios de CO<sub>2</sub>flux.

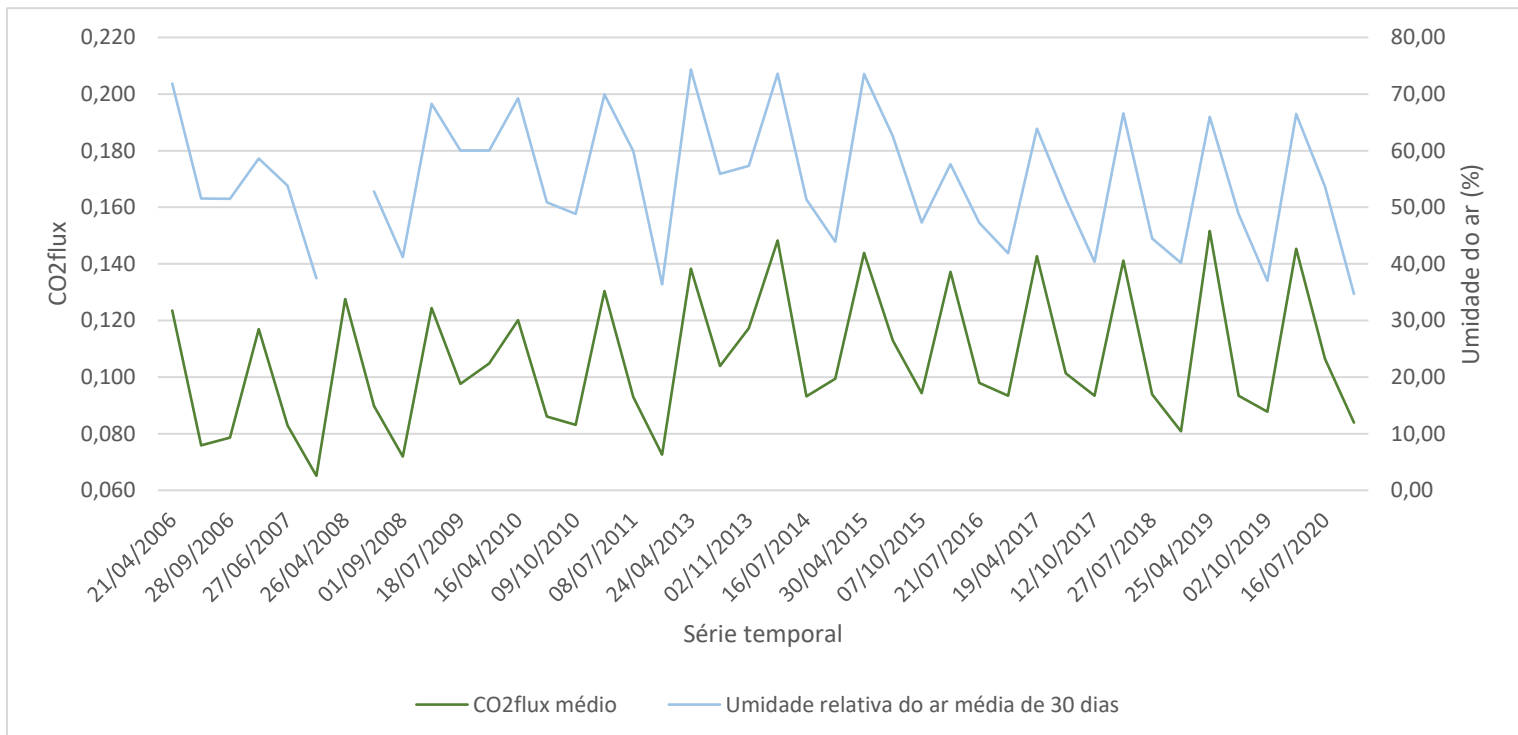


Figura 8 – Valores de CO<sub>2</sub>flux médio e umidade relativa do ar média de 30 dias para a série temporal.

Fonte: O Autor (2021).

Os maiores valores de umidade foram de 74,35% para 24/04/2013, 73,60% para 27/04/2014 e 73,52% para 30/04/2015. Enquanto que os menores foram de 34,69% para 18/09/2020, 36,42% para 26/09/2011 e 37,03% para 02/10/2019. Tais valores foram maiores justamente para o início do ano, tendo em vista que abril é um mês de transição que vem após a época mais chuvosa do ano, enquanto os demais meses da série encontram-se na estação seca.

Visualmente, o gráfico apresenta valores de CO<sub>2</sub>flux mais altos para datas cuja média de 30 dias da umidade do ar também apresenta valores altos. Calculando o coeficiente de correlação para estes dados, obtêm-se um valor alto de 0,84, indicando uma correlação forte entre a umidade média diária e os valores do índice (FIGUEIREDO FILHO E SILVA JÚNIOR, 2009). A correlação entre os dados pode ser vista da Figura 9.

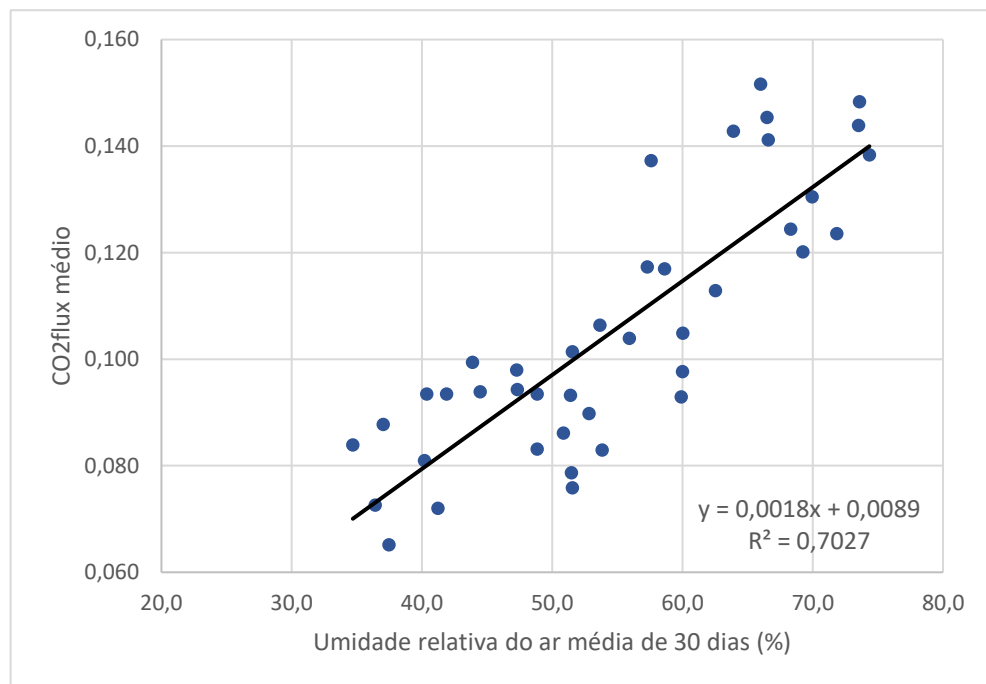


Figura 9 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio e umidade relativa do ar média de 30 dias.

Fonte: O Autor (2021).

Segundo Oliveira e Ferreira (2018), a umidade do ar mais alta reduz o processo de transpiração das plantas, evitando que percam água de forma excessiva, o que seria prejudicial para elas. Se essa umidade fica muito baixa, a planta acaba transpirando mais e reduzindo a quantidade de água disponível para seus processos metabólicos, como a fotossíntese por exemplo, o que a torna fotossinteticamente menos ativa e conseqüentemente reduz a quantidade de carbono absorvido.

Pensando nisso, as datas da série cujos 30 dias anteriores apresentaram valores mais altos de umidade relativa do ar influenciaram positivamente a atividade fotossintética da planta, embora deve-se destacar que este não é o único fator que afeta a fotossíntese. Conseqüentemente, as boas condições influenciam positivamente na absorção de carbono, gerando valores mais altos de CO<sub>2</sub>flux para o dia da imagem.

Em virtude de a estação meteorológica utilizada estar localizada dentro da área urbana do município de Uberlândia, os valores tanto de temperatura máxima e média quanto de umidade relativa do ar média acabam por se diferenciar consideravelmente dos valores da área rural. Valin Jr. *et al.* (2015) colocam que a diferença entre as temperaturas urbana e rural é menor pela manhã, mas se acentua ao longo do dia, à medida que as superfícies urbanas se aquecem e esquentam também o ar urbano.

Dessa forma, a temperatura influencia também na umidade do ar, pois quanto maior o seu valor, menor serão os valores de umidade; enquanto que maiores valores de umidade podem ser verificados em dias de temperaturas mais amenas (CHEGURY *et al.*, 2018; LOPES E JARDIM, 2012).

Ainda tratando do papel da água no processo de fotossíntese, e pensando sobre a questão da disponibilidade hídrica, pode-se observar os volumes de precipitação para a região de Uberlândia e suas influências no processo. Para isso, foram analisados dois conjuntos de dados: os valores de precipitação acumulada de 7 dias e os de 30 dias.

Quando se observa a correlação entre CO<sub>2</sub>flux e as duas variáveis de precipitação, obtêm-se através do cálculo do coeficiente de Pearson, um valor de -0,07 para a precipitação de 7 dias e de 0,70 para a precipitação de 30 dias. O primeiro valor indica a inexistência de correlação entre o índice e os valores de precipitação de 7 dias, enquanto que o segundo indica uma correlação forte (FIGUEIREDO FILHO E SILVA JÚNIOR, 2009) e cujo sinal positivo demonstra ainda que quando uma variável aumenta, a outra também aumenta. A correlação entre os dados de precipitação acumulada de 30 dias e índice CO<sub>2</sub>flux pode ser vista na Figura 10.

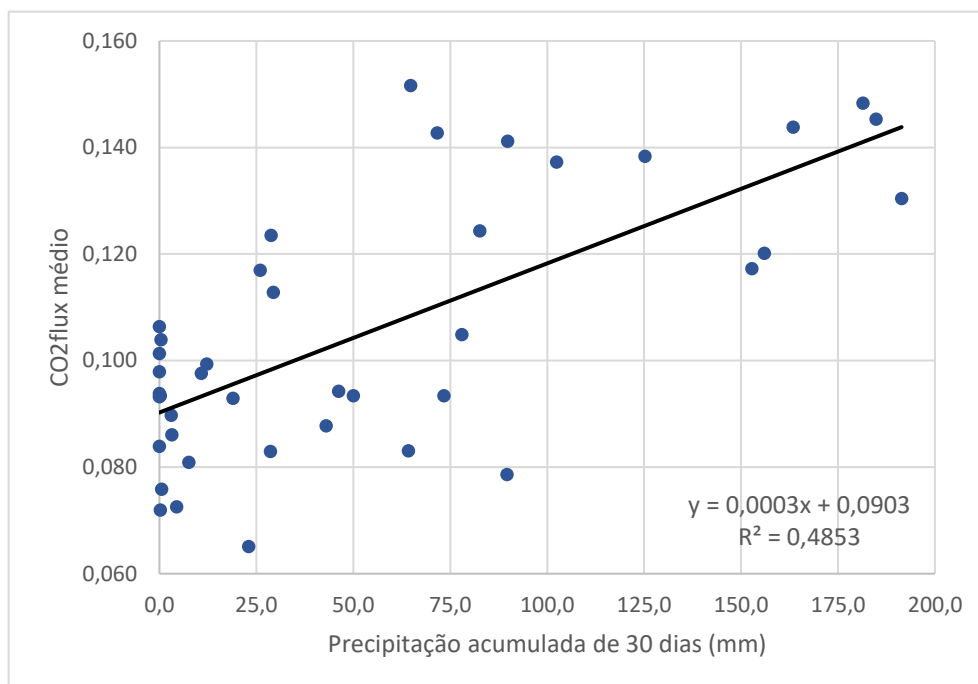


Figura 10 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio e precipitação acumulada de 30 dias.

Fonte: O Autor (2021).

A Figura 11 apresenta os valores médios de CO<sub>2</sub>flux juntamente com a precipitação acumulada de 30 dias para todas as datas da série temporal.

Baseado nos valores de correlação, a precipitação acumulada de 30 dias teve um efeito maior nos valores de CO<sub>2</sub>flux do que a precipitação acumulada de 7 dias. Pode-se dizer que essa relação foi maior por conta da disponibilidade hídrica, pois quando se considera a chuva total de 30 dias, obtêm-se um valor muito maior de água acumulada e disponível para a planta do que a chuva de 7 dias.

O solo é capaz de reter a água proveniente da precipitação e da irrigação, sendo que o volume de água retido vai depender de várias características e fatores desse solo (KLEIN E KLEIN, 2015). Essa água retida é absorvida pelas raízes das plantas, e se a disponibilidade for baixa ocasiona menor hidratação da aérea da planta, podendo causar estresse hídrico (RIBEIRO, 2006).

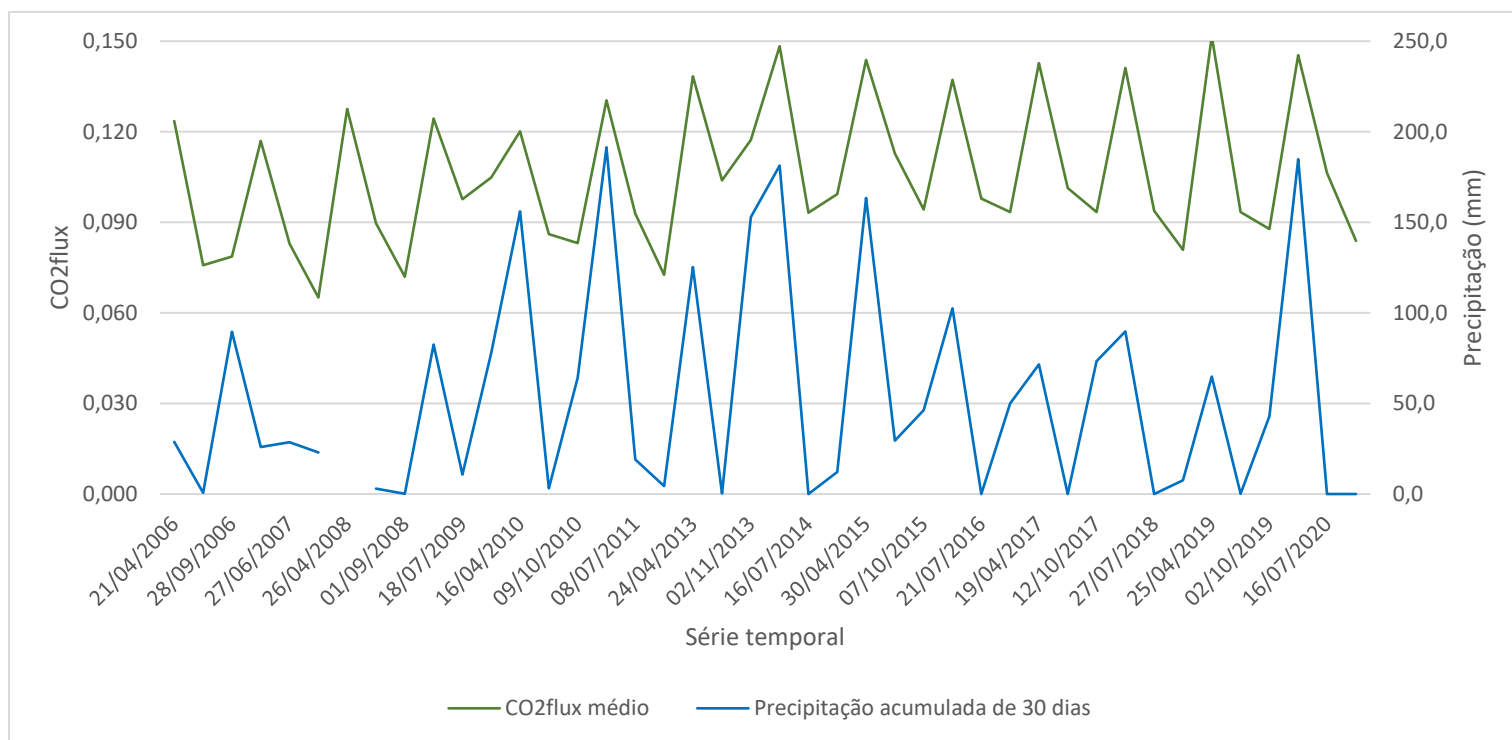


Figura 11 – Valores de CO<sub>2</sub>flux médio e precipitação acumulada de 30 dias para a série temporal.

Fonte: O Autor (2021).

Ao observar a Figura 11, percebe-se a tendência de que, quando a precipitação acumulada apresenta valores mais altos, o valor médio de CO<sub>2</sub>flux também é maior, exatamente o que é confirmado pelo coeficiente de correlação. Alguns exemplos disso expostos pela figura correspondem às datas 19/04/2011, 11/04/2020 e 27/04/2014, com valores médios de CO<sub>2</sub>flux dentre os maiores da série temporal, acompanhando altos índices de precipitação média de 30 dias.

Pode-se destacar também os valores mais baixos de precipitação nas datas de 19/04/2017, 22/04/2018 e 25/04/2019, que apesar disso, apresentaram altos valores de CO<sub>2</sub>flux médio. Já as datas do meio do ano apresentaram valores de precipitação muito baixos ou iguais a zero e valores de CO<sub>2</sub>flux mais baixos. Isso difere das datas referentes a setembro e outubro, que apesar de valores de precipitação maiores que os do meio do ano, apresentaram valores do índice semelhantes com os do mês de julho. Há também a exceção do dia 26/04/2008, que não possui dados de precipitação devido a falhas na estação meteorológica, como já comentado no início das discussões.

Ribeiro (2006) realizou um estudo utilizando a laranjeira do tipo “Valência”, cujos argumentos podem ser utilizados para avaliar a atividade das plantas em geral de acordo com

as condições climáticas de cada ano. O autor expõe que a baixa atividade fotossintética da maior parte das plantas no período mais frio e seco está associado à menor disponibilidade hídrica e à temperatura mais baixa. Já a maior atividade fotossintética nos meses chuvosos e quentes associa-se à disponibilidade maior de recursos, como água, temperatura e energia solar.

Bergamaschi (2007) também confirma isso, argumentado que nas regiões que alternam períodos sazonais secos e úmidos, a fenologia das plantas está ligada à disponibilidade hídrica, o que interfere no ciclo vegetativo. Assim, o regime de chuvas configura-se um fator importante para o desenvolvimento vegetativo e conseqüentemente sua atividade fotossintética e a absorção de carbono pela planta.

Além das variáveis temperatura, umidade do ar e precipitação, a radiação solar é um fator importante dentro do processo de fotossíntese. Segundo Coltri *et al.* (2009), quanto melhor for a utilização da radiação na fotossíntese da planta, maior poderá ser a utilização do carbono atmosférico em seu processo fotossintético e como consequência, maior vai ser a quantidade de carbono estocado por ela.

Analisando os dados de radiação solar para o município de Uberlândia, foram correlacionados com o CO<sub>2</sub>flux os valores de soma de radiação total diária de cada data da série temporal e os valores da soma de radiação total de 30 dias até cada data da série. Para os valores diários, o coeficiente de Pearson calculado foi de -0,34, enquanto que para os valores de 30 dias o valor foi de -0,39. Segundo Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), o primeiro valor indica uma correlação fraca, enquanto o segundo se trata de uma correlação ainda fraca, porém quase intermediária.

Os maiores valores de radiação medidos pela estação meteorológica, correspondem aos meses de setembro e outubro, embora estas mesmas datas apresentem valores menores de CO<sub>2</sub>flux em comparação com as datas de outras épocas do ano. Mesmo que a radiação solar seja um fator imprescindível à ocorrência do processo de fotossíntese, a mesma parece influenciar pouco na efetividade do processo em absorver carbono.

Uma explicação para esse evento, diz respeito à chamada fotoinibição. Segundo Marengo *et al.* (2007), a fotoinibição é um estado que ocorre nos organismos fotossintetizantes, no qual eles passam por um estresse fisiológico, em que ocorre uma redução lentamente reversível da fotossíntese quando há uma exposição prolongada à luz. Ainda segundo os autores, a fotoinibição pode ser revertida rapidamente (fotoinibição dinâmica) ou demorar mais

de 12 horas para que a planta se recupere do estresse (fotoinibição crônica); e esse processo pode ser exacerbado por outros fatores de estresse, como a alta temperatura e o déficit hídrico.

Além disso, os valores de radiação que chegam até a superfície terrestre podem interferir nas outras variáveis meteorológicas, como na temperatura e umidade relativa do ar. Variáveis essas que, como visto anteriormente, apresentam uma correlação mais significativa com os valores de absorção de carbono do que outras variáveis analisadas.

### 5.3. CO<sub>2</sub>FLUX E USO DO SOLO

Quando se observa o comportamento dos valores de CO<sub>2</sub>flux, percebe-se que a média do índice aumenta ao longo da série temporal, sendo consideravelmente maior para os anos finais quando comparada com os anos iniciais. Esse aumento da média pode indicar que houve também um aumento da atividade fotossintética ao longo do tempo. Pensando nisso, um fato que pode explicar esse aumento diz respeito às variações relacionadas às mudanças de uso e cobertura do solo no município. Essas mudanças influenciam na quantidade e tipos de vegetação existentes, e conseqüentemente na atividade fotossintética da região.

A Figura 12 mostra a variação do uso e cobertura do solo no município de Uberlândia no decorrer da série temporal. É importante notar que não houve variações perceptíveis na maioria das categorias definidas, exceto pela pastagem e pela agricultura, cujas variações foram maiores.



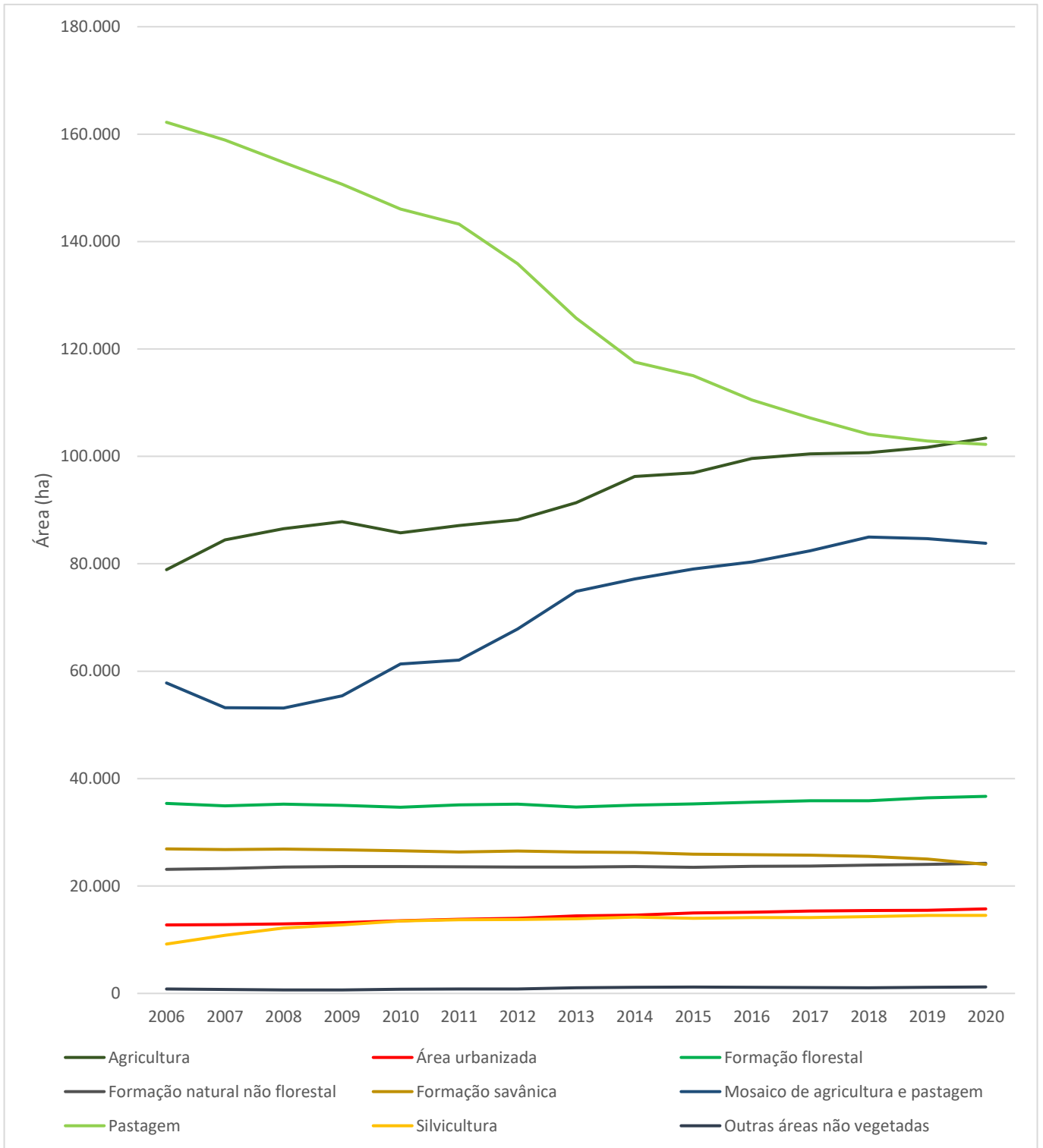


Figura 12 – Variação do uso e cobertura do solo no município de Uberlândia – MG entre 2006 e 2020.

Fonte: MapBiomias (2021).

A parcela territorial dedicada à pastagem era de pouco mais de 162 mil hectares no ano de 2006 e caiu para pouco mais de 102 mil hectares em 2020, uma redução de 37,04%. Já a área dedicada à agricultura cresceu de quase 80 mil hectares em 2006 para pouco mais de 103 mil hectares em 2020, um aumento de 22,33%.

Pelo fato do município de Uberlândia apresentar uma área de agricultura muito maior do que a de formação florestal, pode-se dizer que as variações de CO<sub>2</sub>flux ocorridas ao longo dos anos podem estar condicionadas às variações da área utilizada para agricultura. Isso porque a área dedicada à agricultura aumentou nos últimos anos, enquanto as áreas de formação florestal não sofreram alterações consideráveis durante o mesmo período.

Alguns autores destacam o papel do carbono no crescimento e desenvolvimento das plantas, especialmente de espécies cultivadas (RIBEIRO, 2006; TATAGIBA *et al.*, 2015; ZIMERMANN *et al.*, 2007). Baseado em seus argumentos, podemos enxergar as áreas cultivadas como locais de grande ocorrência de absorção de carbono quando as plantas se encontram em fase de desenvolvimento.

Outro detalhe importante corresponde ao declínio das áreas de pastagem no município, uma vez que as espécies gramíneas possuem características mais simples e menor biomassa do que plantas e árvores maiores, que necessitam de uma atividade fotossintética mais intensa para sobreviverem. Esse declínio, junto com a ascensão da agricultura, indica que grande parte das áreas que antes eram utilizadas para pastagem passaram a serem utilizadas para a agricultura.

Arantes (2015) comenta que a taxa de fotossíntese é um importante indicador de absorção de carbono e produção de biomassa. Seguindo o exposto pela autora, o aumento do sequestro de carbono pela vegetação durante o processo de fotossíntese implica no aumento da chamada produtividade primária líquida. Esta produtividade corresponde à biomassa seca, correspondente à biomassa estrutural da planta.

Seguindo este raciocínio, quando se compara espécies vegetativas de agricultura com espécies de pastagem, claramente percebe-se a diferença existente entre elas quanto ao tamanho de suas biomassas. Ou seja, as espécies vegetativas utilizadas na agricultura possuem uma maior biomassa em comparação com as espécies de pastagem, indicando uma maior quantidade de CO<sub>2</sub> absorvido e estocado.

Além disso, é possível que haja algumas diferenças na atividade fotossintética de diferentes espécies cultivadas. Exemplos disso são a cana de açúcar e o milho, que apresentam

taxa de fotossíntese elevada mesmo com altos valores de radiação solar, sendo classificadas como plantas C4 (KLUGE *et al.*, 2015). Existem também as plantas classificadas como C3, que segundo os autores, se diferenciam das espécies C4 por apresentarem fatores que inibem a fotossíntese quando se tem altos níveis de radiação solar.

Em seu trabalho, Almeida e Rocha (2018) destacam a associação de menores valores de CO<sub>2</sub>flux com, além de áreas urbanizadas, pastagens consideravelmente degradadas. Eles também destacam valores intermediários do índice associados a locais com pastagens mais saudáveis e os maiores valores referentes a áreas com cobertura florestal mais densa.

Os valores de CO<sub>2</sub>flux encontrados por Almeida e Rocha (2018) para áreas urbanizadas e pastagens degradadas estão dentro do intervalo de -0,1 a 0,17, sendo os valores negativos correspondentes às áreas urbanizadas e os demais a solo exposto e às pastagens. Eles obtiveram também valores de 0,17 a 0,27 para vegetação mais saudável e maiores que 0,27 para as áreas de cobertura vegetal bastante densa.

Comparando com os valores obtidos neste trabalho, percebe-se uma semelhança nos resultados. O perímetro urbano, juntamente com áreas ocupadas pela água, apresentou valores negativos de CO<sub>2</sub>flux; enquanto que uma quantidade considerável de áreas com solo exposto apresentou valores positivos próximos de zero.

Olhando para as áreas de pastagem, uma parcela considerável apresentou valores entre 0,10 e 0,17, correspondendo à pastagem mais degradada. Os valores entre 0,17 e 0,27 foram também observados para áreas de vegetação mais saudável, incluindo pastagem e agricultura.

O restante dos valores, acima de 0,27, corresponderam a uma área menor do que as demais anteriormente citadas, referentes principalmente a áreas próximas de cursos d'água e também a áreas de agricultura. Valores semelhantes de CO<sub>2</sub>flux para áreas ocupadas pela agricultura foram encontrados por Gomes *et al.* (2021), cujos valores médios foram de 0,271 para a estação chuvosa e 0,132 para a estação seca. Pensando nessas áreas, é importante destacar o advento de diversas tecnologias nos últimos anos, que tem possibilitado potencializar as produções agrícolas e tornar as culturas mais produtivas.



Figura 13 - Exemplo de diferentes níveis de cobertura do solo. Marcadores seguindo a definição apresentada por Almeida e Rocha (2018): vermelho – pastagem bem degradada com muito solo exposto ( $\text{CO}_2$ flux entre 0 e 0,17); amarelo – pastagem pouco degradada ( $\text{CO}_2$ flux entre 0,17 e 0,27); verde claro – plantação com vegetação pouco desenvolvida, semelhante à pastagem não degradada ( $\text{CO}_2$ flux entre 0,17 e 0,27); verde escuro – plantação bem desenvolvida com maior densidade vegetativa ( $\text{CO}_2$ flux entre 0,27 e 0,39); azul – área de mata ciliar ( $\text{CO}_2$ flux entre 0,27 e 0,39).

Fonte: Google Earth (2022).

Quando correlacionados os dados de  $\text{CO}_2$ flux com os dados de agricultura, obtêm-se um coeficiente de Pearson igual a 0,72, indicando uma correlação forte e positiva (FIGUEIREDO FILHO E SILVA JÚNIOR, 2009), no qual quando a área de agricultura aumenta também aumentam os valores de  $\text{CO}_2$ flux. Para esta e a próxima correlação, foi calculada uma média de  $\text{CO}_2$ flux para cada ano da série temporal, considerando as médias dos três meses utilizados para cada ano (Figura 13).

Já a correlação de  $\text{CO}_2$ flux com os dados da área ocupada pela pastagem, apresentou um valor de -0,76, indicando também uma forte correlação (FIGUEIREDO FILHO E SILVA JÚNIOR, 2009), e que quando a área de pastagem aumenta, os valores do índice diminuem (Figura 14).

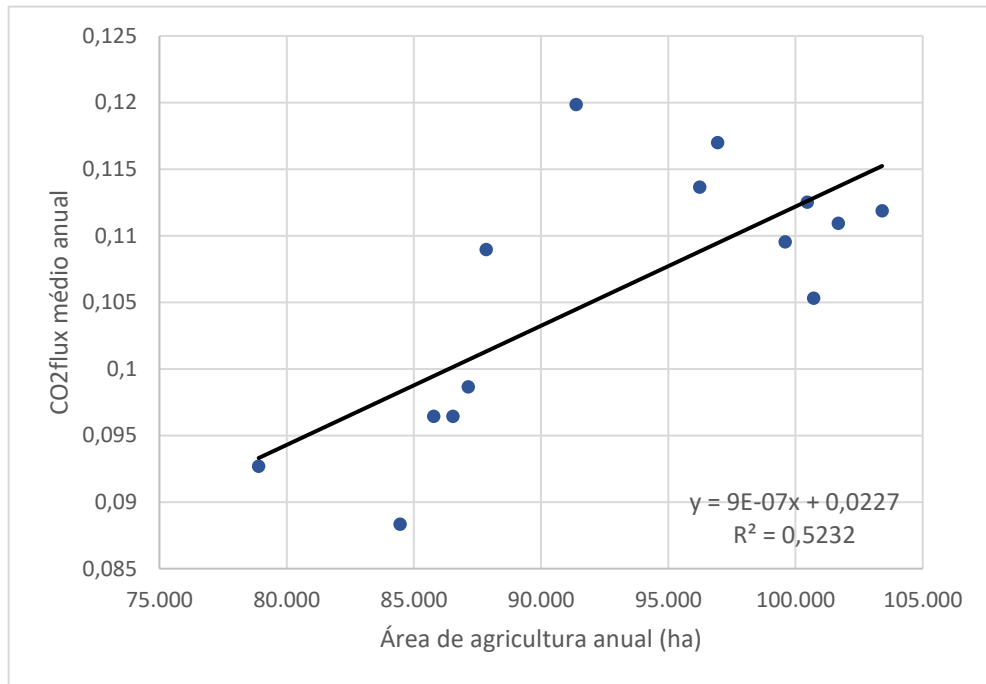


Figura 13 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio anuais e área anual ocupada por agricultura.

Fonte: O Autor (2021).

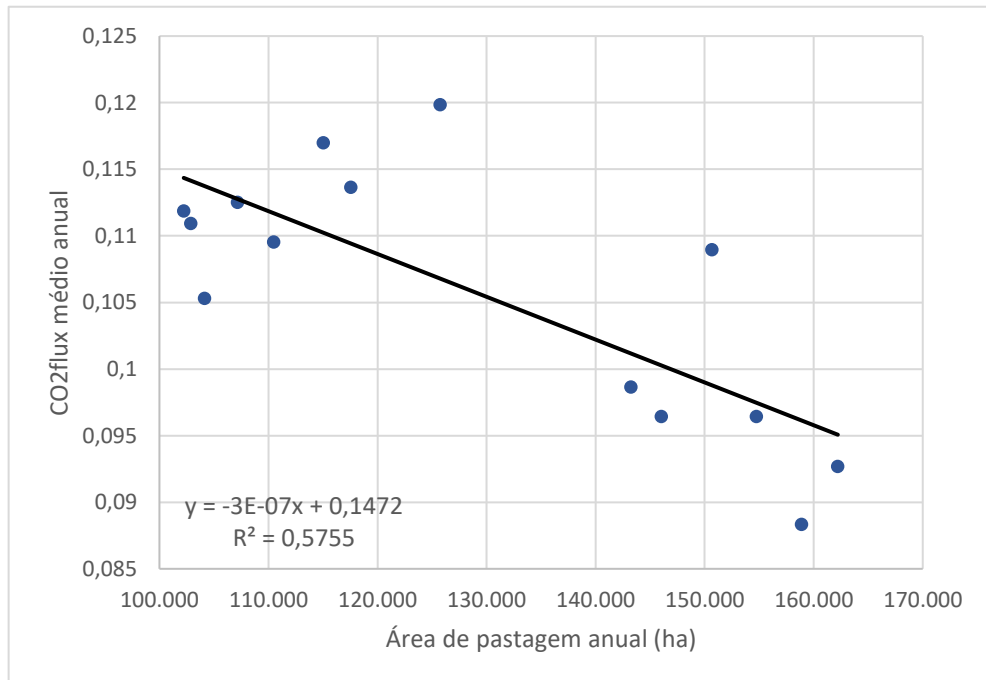


Figura 13 – Correlação entre os valores de CO<sub>2</sub>flux médio anuais e área anual ocupada por pastagem.

Fonte: O Autor (2021).

Um ponto importante a se comentar também, é referente à problemática das queimadas, que podem interferir nos valores de CO<sub>2</sub>flux, se tiverem ocorrido próximas às datas de passagem dos satélites. Essas áreas degradadas pelo fogo são então capturadas e registradas nas imagens de satélite, que uma vez utilizadas no cálculo dos índices vão apresentar valores mais baixos de absorção de carbono. Tal fato é exposto pelo trabalho de Teobaldo e Baptista (2016), que argumentam também a respeito do grau de severidade das queimadas, cujo sequestro de carbono acaba sendo ainda menor em áreas com alta severidade.

## 6. CONCLUSÃO

Muito já se estudou sobre a temática da absorção de carbono com relação às florestas tropicais e temperadas, mas pouco se sabe ainda sobre como ela se dá em biomas com características diferentes das florestas, como o Cerrado por exemplo, e as interferências de fatores meteorológicos e da mudança de uso e ocupação do solo nesse processo.

Assim, o presente estudo estimou através do índice CO<sub>2</sub>flux, a absorção de carbono realizada pela vegetação do município de Uberlândia-MG e buscou observar como essas variáveis podem interferir no processo. Através dessa estimativa, foi possível observar as variações ocorridos entre 2006 e 2020 e o comportamento do índice nesse período.

Os dados de CO<sub>2</sub>flux obtidos seguiram um padrão semelhante para todos os anos da série temporal, com valores mais altos para o mês de abril, e menores para os meses junho/julho e setembro/outubro. Eles acompanharam o padrão climático do município, com valores de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura mais propícios às plantas no mês de abril, quando comparados com os outros meses analisados. Infelizmente, devido à presença de nebulosidade nos meses mais chuvosos (novembro a março), estes não puderam ser analisados utilizando a metodologia proposta.

Quando correlacionados os valores de CO<sub>2</sub>flux com as variáveis meteorológicas, valores mais altos de correlação foram obtidos para a umidade relativa do ar média ( $R = 0,50$ ), umidade relativa do ar média de 30 dias ( $R = 0,84$ ) e precipitação acumulada de 30 dias ( $R = 0,70$ ), indicando que elas apresentaram maior influência no índice, quando comparadas com outras variáveis, que apresentaram correlações bem menores, abaixo de 0,50.

Uma vez que Uberlândia apresenta grandes mudanças de uso e ocupação do solo, estes dados foram também correlacionados com os de CO<sub>2</sub>flux, sendo utilizados os que apresentam maiores mudanças de uso do solo: agricultura e pastagem. As correlações ( $R$ ) para cada um foram, respectivamente, de 0,72 e -0,76, sendo então correlações fortes, indicando influência destas mudanças nos valores do índice.

Destaca-se por fim, como já comentado, que a metodologia proposta para o cálculo de CO<sub>2</sub>flux não apresenta ainda uma validação dos resultados para o bioma do Cerrado, dificultando a comparação dos resultados aqui obtidos com os alcançados por outros estudos. Assim, é importante que novos estudos com medidas *in situ* sejam realizados, a fim de aprofundar a temática e obter resultados mais sólidos para o Cerrado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. R. R.; ROCHA, K. S. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI, e CO<sub>2</sub>flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 7., 2018, Jardim – MS. **Anais...** Jardim – MS: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2018. p. 985-994. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/Anais-Geopantanal/pdfs/p151.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

ALVES, L. A.; RIBEIRO FILHO, V.; SILVA, A. R. P. Produção do espaço urbano: considerações sobre o setor leste da cidade de Uberlândia – MG. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/REJ**, Jataí – GO, n. 35, p. 183-202, set./dez. 2019. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/55771/35466>>. Acesso em: 29 mai. 2021.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Estudo da dinâmica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no núcleo de São Raimundo Nonato-PI. **GEOUSP Espaço e Tempo [online]**, v. 16, n. 2, p. 157-168, 2012. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74261/77904>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

ARANTES, A. E. **Fenologia da vegetação e a sua relação com a água e o carbono em ambientes de Cerrado no Brasil: influências do uso e cobertura da terra no passado, presente e futuro**. 2015. 84 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/4947/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Arielle%20Elias%20Arantes%20-2015.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

BAPTISTA, G. M. M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de Cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1037-1044. Disponível em: <[http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.07.21.45/doc/10\\_002.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.07.21.45/doc/10_002.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2021.

BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do sequestro de carbono e domos urbanos de CO<sub>2</sub> em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. **Geografia**, Rio Claro – SP, v. 29, n. 2, p. 189-202, mai./ago. 2004. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/853/860>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, C. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELATTO, L. P. C. **Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetativos arbóreos**. Colombo – PR: Embrapa Florestas. Capítulo 16, p. 291-310, 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Homero-Bergamaschi/publication/236144951\\_O\\_clima\\_como\\_fator\\_determinante\\_da\\_fenologia\\_das\\_plantas/links/5857cfb408ae64cb3d47c723/O-clima-como-fator-determinante-da-fenologia-das-plantas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Homero-Bergamaschi/publication/236144951_O_clima_como_fator_determinante_da_fenologia_das_plantas/links/5857cfb408ae64cb3d47c723/O-clima-como-fator-determinante-da-fenologia-das-plantas.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2021.

BILICH, M. R.; LACERDA, M. P. C. Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal (DF), por meio de geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005,



Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 2059-2065. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.18.26/doc/2059.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2021.

BIZIAK, L. D.; ARAÚJO, A. A.; SILVA, C. R. Análise da sustentabilidade urbana por meio da avaliação da qualidade ambiental do setor central de Uberlândia - MG. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 27232-27251, mai. 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/9999/8561>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

Caracterização econômica das regiões de planejamento. **Associação Mineira de Municípios – AMM**, 2014. Disponível em: <<https://portalamm.org.br/caracterizacao-economica-das-regioes-de-planejamento/>>. Acesso em: 04 mai. 2021.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. M.; CERRI, E. P. C. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 277-290, abr. 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QKJZTHq3WhVSXHgVMyskHCL/?lang=pt>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

CERQUEIRA, D. B.; FRANCA-ROCHA, W. Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO<sub>2</sub> no bioma Caatinga: estudo de caso em Rio de Contas - BA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2413-2419. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.29/doc/2413-2419.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2021.

CHEGURY, J. Q. B. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SIQUEIRA, F. R. P. S.; VALIN JÚNIOR, M. O.; RIBEIRO, K. F. A.; SANTOS, F. M. M. Análise da variação termo-higrométrica entre a área urbana e rural da região metropolitana de Cuiabá/MT. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 113-120, fev./mar. 2018. Disponível em: <<http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2018.003.0010/1303>>. Acesso em: 22 set. 2021.

COLTRI, P. P; RAMIREZ, G. M. WALTER, M. K. C.; ZULLO JUNIOR, J. 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 do cafeeiro arábica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 121-128. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.15.21/doc/121-128.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2021.

CORDEIRO, N. G.; PEREIRA, K. M. G.; TERRA, M. C. N. S.; MELLO, J. M. Variação temporal do estoque de carbono e volume de madeira em um fragmento de Cerrado *sensu stricto*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 15, n. 28, p. 931-941, 2018. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018B/AGRAR/Variacao.pdf>>. Acesso em: 31 mai. 2021.

DAMACENO, P. H. F. **Características de localização e quantificação da prestação de serviços de saúde e de educação em Uberlândia-MG**. 2014. 49 p. Trabalho de conclusão de

curso (Bacharelado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em: <[http://www.lagea.ig.ufu.br/biblioteca/monografias/pedro\\_henrique\\_flausino\\_damaceno.pdf](http://www.lagea.ig.ufu.br/biblioteca/monografias/pedro_henrique_flausino_damaceno.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2021.

EMBRAPA. **Landsat – Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acesso em: 03 ago. 2021.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Política Hoje**, [s.l.], v. 18, n. 1, p. 115-146, mar. 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Dalson-Figueiredo/publication/290157754\\_Desvendando\\_os\\_Misterios\\_do\\_Coeficiente\\_de\\_Correlacao\\_de\\_Pearson\\_r/links/5695032908ae820ff07492cb/Desvendando-os-Misterios-do-Coeficiente-de-Correlacao-de-Pearson-r.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dalson-Figueiredo/publication/290157754_Desvendando_os_Misterios_do_Coeficiente_de_Correlacao_de_Pearson_r/links/5695032908ae820ff07492cb/Desvendando-os-Misterios-do-Coeficiente-de-Correlacao-de-Pearson-r.pdf)>. Acesso em: 05 mai. 2021.

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. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física**, Campinas, p. 4642-4653, 2017. Disponível em: <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2175>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

FONSECA, E. L.; LOCATELLI, M.; SILVA FILHO, E. P. NDVI aplicado na detecção de degradação de pastagens cultivadas. **Confins [online]**, n. 35, 2018. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/13180>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

FONTANA, D. C.; PINTO, D. G.; JUNGES, A. H.; BREMM, C. Inferências sobre o calendário agrícola a partir de perfis temporais de NDVI/MODIS. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 3, p. 350-358, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/XKG7CSw4dn85nCrKn68gW7j/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

GOMES, D. S.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; SANTOS, T. M.; SILVA, E. V.; BARBOSA, A. S. CO<sub>2</sub>flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 1898-1908, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/248853>>. Acesso em: 04 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 03 set. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Mapa das estações meteorológicas**. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 03 set. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 03 set. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Landsat**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 02 jun. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2021**. 2021. Disponível em: <[https://tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking\\_saneamento\\_2021/Ranking\\_do\\_Saneamento\\_2021\\_-\\_tabela\\_das\\_100\\_maiores\\_cidades\\_do\\_Brasil\\_.pdf](https://tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_saneamento_2021/Ranking_do_Saneamento_2021_-_tabela_das_100_maiores_cidades_do_Brasil_.pdf)>. Acesso em: 19 mai. 2021.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria – RS, v. 19, n. 1, jan./abr. 2015, p. 21-29. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/231163304.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2021.

KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. M. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 56-73, jan./fev. 2015. Disponível em: <<https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/996/531>>. Acesso em: 13 out. 2021.

LOMBARDI, R. J. R. **Estudo da recorrência de queimadas e permanências de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do Cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat**. 2005. 172 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, 2005. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos\\_publicacoes/Roberto\\_Lombardi.pdf](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/Roberto_Lombardi.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2021.

LOPES, L. C. S.; JARDIM, C. H. Variações de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana e rural durante o segmento temporal de inverno de 2011 em Contagem e Betim (MG). **ACTA Geográfica**, Boa Vista, Edição Especial Climatologia Geográfica, p. 205-221, 2012. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/actageo/article/view/1103>>. Acesso em: 27 out. 2021.

LOPES, R. C.; SILVA, R. N. F. Uso de lógica booleana na triagem de áreas aptas para a implantação de aterro sanitário no município de Campina Verde, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s.l.], v. 7, n. 16, p. 487-499, ago. 2020. Disponível em: <[https://web.archive.org/web/20201105175750id\\_/http://revista.ecogestaobrasil.net/v7n16/v07n16a03.pdf](https://web.archive.org/web/20201105175750id_/http://revista.ecogestaobrasil.net/v7n16/v07n16a03.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2021.

MARENCO, R. A.; NEVES, T. S.; CAMARGO, M. A. B.; DIAS, D. P.; COSTA, G. F.; RODRIGUES, J. C. Fotoinibição dinâmica da fotossíntese em árvores de dossel da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. S2, p. 150-152, jul. 2007. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/166>>. Acesso em: 27 out. 2021.

MEDEIROS, J. D. **Guia de campo: vegetação do Cerrado 500 espécies**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2011.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **RA'E GA**, Curitiba, v. 23, p. 520-533, 2011.

Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919/16717>>. Acesso em: 02 ago. 2021.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; SANTA ROSA; A. N. C.; SANO, E. E. SOUZA, E. B.; BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

MOREIRA, R. C.; GALVÃO, L. S.; CASTRO, R. M. Caracterização da reflectância espectral de materiais urbanos com imagens do sensor HSS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 6489-6496. Disponível em: <<http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.10.12.04/doc/6489-6496.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2021.

MundoGEO. **LandSat 7 enfrenta problemas técnicos**. 2003. Disponível em: <<https://mundogeo.com/2003/10/15/landsat-7-enfrenta-problemas-tecnicos/>>. Acesso em: 07 ago. 2021.

NOVO, E. M. L. M.; PANZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001.

NUNES, B. Y. C. **Análise da eficiência de absorção de CO<sub>2</sub> pela vegetação após um incêndio na Estação Ecológica do Panga por meio de índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto**. 2021. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em:

<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/34078/4/An%c3%a1liseEfici%c3%aaanciaAbsor%c3%a7%c3%a3o.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

NUNNENKAMP, C. H.; CORTE, A. P. D. Emissão de gases de efeito estufa e proposta de projeto para compensação: um estudo de caso e-commerce. **Biofix Scientific Journal**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 69-77, mai. 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/51086>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Análise das emissões brasileiras de gases do efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970 – 2019. **SEEG (Sistema de Estimativa de Gases de Efeito Estufa) do Observatório do Clima**, 2020. Disponível em: <[https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG\\_8/SEEG8\\_DOC\\_ANALITICO\\_SINTESE\\_1990-2019.pdf](https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2021.

OLIVEIRA, T. M.; FERREIRA, R. R. Transpiração das plantas e sua relação com a temperatura. **IX Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente – SNCMA e III CIPEEX – Ciência para a redução das desigualdades**, v. 2, p. 290-297, 2018. Disponível em: <<http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/CIPEEX/article/view/3079/1204>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

PETRUCCI, E. **Características do clima de Uberlândia-MG: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa**. 2018. 245 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20810/4/CaracteristicasClimaUberlandia.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

PINTO, E. P. P.; MOUTINHO, P.; STELLA, O.; CASTRO, I.; MAZER, S.; RETTMANN, R.; MOREIRA, P. F. **Perguntas e respostas sobre aquecimento global**. 5. ed. Belém - PA: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM, 2010. 64 p. Disponível em: <[https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2010/05/perguntas\\_e\\_respostas\\_sobre\\_aquecimento.pdf](https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2010/05/perguntas_e_respostas_sobre_aquecimento.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2021.

**Projeto MapBiomias** – Coleção 6.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 02 ago. 2021.

RAHMAN, A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. Modeling CO<sub>2</sub> flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. **AVIRIS Workshop**, JPL/NASA, Pasadena, California, 8 p., 2000. Disponível em: <[https://aviris.jpl.nasa.gov/proceedings/workshops/00\\_docs/Rahman\\_web.pdf](https://aviris.jpl.nasa.gov/proceedings/workshops/00_docs/Rahman_web.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2021.

RIBEIRO, R. V. **Variação sazonal da fotossíntese e relações hídricas de laranjeira ‘Valência’**. 2006. 157 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2006. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/cb41/d68646442a89da8537b0ee5c0ef476523ff8.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2021.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/554094>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ROSA, R. Introdução ao Geoprocessamento. **Universidade Federal de Uberlândia**, 2013.

SANTOS, A. B.; PETRONZIO, J. A. C. Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 6185-6192. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.28.18.42/doc/p0210.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2021.

SANTOS, Y. S.; SOUZA, J. C. Avaliação temporal do fluxo de carbono da vegetação de Cerrado da microrregião da Chapada dos Veadeiros - Goiás. Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual de Goiás (CEPE/UEG): Ciência para redução de desigualdades, 5., 2018. **Anais...** Pirenópolis – GO: Universidade Estadual de Goiás, 2019. 10 p. Disponível em: <<https://www.anais.ueg.br/index.php/cepe/article/view/12710>>. Acesso em: 14 mai. 2021.

SILVA, E. M.; ASSUNÇÃO, W. L. O clima na cidade de Uberlândia – MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia – MG, v. 16, n. 30, p. 91-107, jun. 2004. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/9181/5646>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

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 CO<sub>2</sub> em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 354-370, abr./jun. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bcg/a/JQMMssh789dXTV7GJQQvX6B/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 18 set. 2021.

SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. M. Modelagens de sequestro florestal de carbono e dos conteúdos de CO<sub>2</sub> atmosférico com dados HYPERION em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 7, p. 1509-1521, nov./dez. 2015. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/47472216-Modelagens-de-sequestro-florestal-de-carbono-e-dos-conteudos-de-co-2-atmosferico-com-dados-hyperion-em-diferentes-ambientes-na-amazonia-brasileira.html>>. Acesso em: 18 set. 2021.

SILVA, D. P.; FERREIRA, M. E. Uso de imagens do satélite TRMM para quantificação do regime de chuvas e nebulosidade no bioma Cerrado, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu – PR. **Anais...** Foz do Iguaçu – PR: INPE, 2013. p. 8661-8668. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.59/doc/p1529.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2021.

SILVA, B. H. R.; SILVA, R. N. F. Avaliação de impactos ambientais em áreas de mineração com o uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI): estudo de caso para a região de Paracatu (Minas Gerais). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, [s.l.], v. 2, n. 3, p. 02-17, set./dez. 2021. Disponível em: <<https://rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/56>>. Acesso em: 27 out. 2021.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 63-76, mai. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/38V6K75fLfgmKLjFgQmmbWk/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 09 abr. 2021.

SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; LOPES, E. R. N.; PADOVANNI, N. G.; MORAES, M. C. M.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Avaliação da atividade fotoquímica de diferentes tipos de cobertura vegetal a partir do Índice de Refletância Fotoquímica. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18., 2017, Santos – SP. **Anais...** Santos – SP: INPE, 2017. p. 211-217. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr/papers/avaliacao-da-atividade-fotoquimica-de-diferentes-tipos-de-cobertura-vegetal-a-partir-do-indice-de-refletancia-fotoquimic?lang=pt-br>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa – MG, v. 23, n. 4, jul./ago. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/518/356>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

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. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 250-264, 2016. Disponível em:

<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/233450/27152>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

TORRES, L. M.; PINHEIRO, C. D. P. S.; AZEVEDO, S. D.; RODRIGUES, P. R. S.; SANDIM, D. P. R. Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. **Naturae**, v. 2, n. 1, p. 23-33, jan./jun. 2020. Disponível em: <<http://www.sapientiae.com.br/index.php/naturae/article/view/CBPC2674-6441.2020.001.0003/54>>. Acesso em: 27 fev. 2021.

United States Geological Survey – USGS. **EarthExplorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 21 jul. 2021.

United States Geological Survey – USGS. **Landsat Missions: Landsat 7**. Disponível em: <[https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)>. Acesso em: 21 jul. 2021.

VALIN JR, M. O.; RIBEIRO, K. A.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; DE MUSIS, C. R. Análise da variação higrótérmica entre área rural e urbana em período de nível crítico de umidade no Vale do Rio Cuiabá. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria – RS, v. 19, n. 2, mai./ago. 2015, p. 1392-1399. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/16864/pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

VIEIRA, M. G.; MACHADO, G. Caracterização do fenômeno das ilhas de calor na cidade de Uberlândia - MG. **I Simpósio Nacional de Geografia e Gestão Territorial e XXXIV Semana de Geografia da Universidade Estadual de Londrina**, p. 688-705, 2018. Disponível em: <<http://anais.uel.br/portal/index.php/sinagget/article/view/404/325>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; RAITER, F.; HOEGEL, W.; CAMPELO JR, J. H. Effects of meteorological variations on the CO<sub>2</sub> exchange of a Brazilian transitional tropical forest. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, ago. 2004, p. 89-100. Disponível em: <<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/01-6005>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

WELTER, A.; STATELLA, T.; LIMA, G. M. Distorções causadas pela falta de calibração radiométrica e efeitos atmosféricos na análise de dados de sensoriamento remoto orbital. **Geografia**, [s.l.], v. 45, n. 2, p. 361-383, jul./dez. 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Thiago-Statella/publication/348339913\\_DISTORCOES\\_CAUSADAS\\_PELA\\_FALTA\\_DE\\_CALIBRACAO\\_RADIOMETRICA\\_E\\_EFEITOS\\_ATMOSFERICOS\\_NA\\_ANALISE\\_DE\\_DADOS\\_DE\\_SENSORIAMENTO\\_REMOTO\\_ORBITAL/links/5ff8eaa6299bf1408880eab0/DISTORCOES-CAUSADAS-PELA-FALTA-DE-CALIBRACAO-RADIOMETRICA-E-EFEITOS-ATMOSFERICOS-NA-ANALISE-DE-DADOS-DE-SENSORIAMENTO-REMOTO-ORBITAL.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thiago-Statella/publication/348339913_DISTORCOES_CAUSADAS_PELA_FALTA_DE_CALIBRACAO_RADIOMETRICA_E_EFEITOS_ATMOSFERICOS_NA_ANALISE_DE_DADOS_DE_SENSORIAMENTO_REMOTO_ORBITAL/links/5ff8eaa6299bf1408880eab0/DISTORCOES-CAUSADAS-PELA-FALTA-DE-CALIBRACAO-RADIOMETRICA-E-EFEITOS-ATMOSFERICOS-NA-ANALISE-DE-DADOS-DE-SENSORIAMENTO-REMOTO-ORBITAL.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2021.

ZAMADEI, T. **Radiação global e difusa diária na região de transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso**. 2015. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop – MT, 2015. Disponível em:

<[https://ri.ufmt.br/bitstream/1/2343/1/DISS\\_2015\\_Tamara%20Zamadei.pdf](https://ri.ufmt.br/bitstream/1/2343/1/DISS_2015_Tamara%20Zamadei.pdf)>. Acesso em: 14 dez. 2021.

ZIMERMANN, H. R.; CARNEIRO, J. V.; MORAES, O. L. L.; ESCOBAR, L. F.; CHAVEZ, L. F.; FIORIN, J.; AMADO, T. J. C. Análise do fluxo de CO<sub>2</sub> sobre uma cultura de soja. **Ciência e Natura**, Santa Maria – RS, v. 29 (Special Edition: V Workshop Brasileiro de Micrometeorologia), p. 91-94, 2007. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/9815/5882>>. Acesso em: 15 jan. 2022.