

Estimativa de consumo hídrico do eucalipto através de imagens de sensores orbitais

Estimation of water consumption of eucalyptus using images from orbital sensors

Consumo estimado de água de eucalipto a través de imágenes de sensores orbitales

Recebido: 14/05/2022 | Revisado: 25/05/2022 | Aceito: 26/05/2022 | Publicado: 01/06/2022

Thalles Loiola Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5893-2589>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: tdiasflorestal@gmail.com

Marcelo Rossi Vicente

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2516-5656>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, Brasil

E-mail: marcelo.vicente@ifnmg.edu.br

Ronaldo Medeiros dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1717-5467>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, Brasil

E-mail: ronaldo.medeiros@ifnmg.edu.br

Vinicius Orlandi Barbosa Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4252-2942>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, Brasil

E-mail: vinicius.orlandi@ifnmg.edu.br

Sâmara Magdalene Vieira Nunes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7699-3473>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: samaramvnunes@gmail.com

Resumo

O plantio do Eucalipto, ao redor do mundo, tem gerado inúmeras discussões ocasionadas pelos efeitos de sua implantação e seus impactos ambientais causados no ecossistema e na disponibilidade hídrica do meio inserido. A evapotranspiração (ET) é um parâmetro primário para a maioria dos estudos envolvendo recursos hídricos, pois representa a principal perda de água do ciclo hidrológico e apresenta estrutura complexa de interação com o ecossistema, é fortemente influenciado pelo meio ambiente e pela atividade humana. O sensoriamento remoto auxilia na obtenção da estimativa da ET em grandes áreas e oferece resultados com elevado grau de confiança, rapidez. Objetivou-se com este trabalho estimar a evapotranspiração de uma área de reflorestamento (eucalipto) e de Cerrado, na cidade São João do Paraíso/MG, utilizando-se de imagens orbitais do satélite LANDSAT 8 processadas através do algoritmo *Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration* (METRIC) na plataforma do *Google Earth Engine*, *Earth Engine Evapotranspiration Flux* (EEFLUX). Os dados foram processados e obteve-se a média dos valores de ET para as áreas. A área de plantio de eucalipto obteve menor evapotranspiração média quando comparada à área de cerrado, entretanto aplicou-se o teste t de Student não pareado, e obtiveram-se que as médias são estatisticamente iguais no período avaliado, observou-se maiores valores de ET no período de Verão sendo a variação da evapotranspiração relacionada com a disponibilidade de radiação. O uso do algoritmo METRIC, associado ao aplicativo EEFLUX mostrou-se satisfatório para o estudo da evapotranspiração em bacias hidrográficas e poderá auxiliar no manejo dos recursos hídricos de forma mais eficiente.

Palavras-chave: SIG; Sensoriamento remoto; Metric; Google earth engine; Eeflux.

Abstract

The planting of Eucalyptus around the world has generated numerous discussions caused by the effects of its implementation and its environmental impacts caused in the ecosystem and water availability in the environment. Evapotranspiration (ET) is a primary parameter for most studies involving water resources, as it represents the main water loss in the hydrological cycle and presents a complex structure of interaction with the ecosystem, and is strongly influenced by the environment and human activity. Remote sensing aids in obtaining ET estimates over large areas and offers results with a high degree of confidence and speed. The objective of this work was to estimate the evapotranspiration of a reforested area (eucalyptus) and Brazilian savanna, in the city of São João do Paraíso/MG, using orbital images from the LANDSAT 8 satellite processed through the *Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration* (METRIC) algorithm in the *Google Earth Engine* platform, *Earth Engine Evapotranspiration Flux* EEFLUX. The data were processed and the average ET values for the areas were obtained. The eucalyptus plantation area (reforestation) obtained lower average evapotranspiration when compared to the and Brazilian savanna, area, however the unpaired Student's t-test was applied, and it was obtained that the averages are statistically equal in the evaluated period, it was observed higher ET values in the summer period being the variation of evapotranspiration

related to the availability of radiation. The use of the METRIC algorithm, associated with the EEFLUX application, proved to be satisfactory for the study of evapotranspiration in watersheds, and may help to manage water resources more efficiently.

Keywords: GIS; Remote sensing; Metric; Google earth engine; Eeflux.

Resumen

La siembra de Eucalipto, en todo el mundo, ha generado numerosas discusiones provocadas por los efectos de su implantación y sus impactos ambientales causados en el ecosistema y en la disponibilidad de agua del medio insertado. La evapotranspiración (ET) es un parámetro primario para la mayoría de los estudios que involucran recursos hídricos, ya que representa la principal pérdida de agua en el ciclo hidrológico y presenta una estructura compleja de interacción con el ecosistema, está fuertemente influenciada por el medio ambiente y la actividad humana. La teledetección ayuda a obtener estimaciones de ET en grandes áreas y ofrece resultados con un alto grado de confianza, rápidamente. El objetivo de este trabajo fue estimar la evapotranspiración de un área de reforestación (eucalipto) y Cerrado, en la ciudad de São João do Paraíso/MG, utilizando imágenes orbitales del satélite LANDSAT 8 procesadas a través del algoritmo *Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration* (METRIC) en la plataforma *Google Earth Engine*, *Earth Engine Evapotranspiration Flux* EEFLUX. Los datos fueron procesados y se obtuvo el promedio de los valores de ET para las áreas. El área de plantación de eucalipto (reforestación) presentó menor evapotranspiración promedio en comparación con el área del cerrado, sin embargo, se aplicó la prueba t de Student no pareada y se encontró que los promedios son estadísticamente iguales en el período evaluado, con valores de ET más altos en siendo el período estival la variación de la evapotranspiración relacionada con la disponibilidad de radiación. El uso del algoritmo METRIC, asociado a la aplicación EEFLUX, demostró ser satisfactorio para el estudio de la evapotranspiración en cuencas hidrográficas y puede ayudar en la gestión más eficiente de los recursos hídricos.

Palabras clave: SIG; Percepción remota; Metric; Google earth engine; Eeflux.

1. Introdução

No ano de 2019, o Estado de Minas Gerais posicionou-se como líder em área florestal plantada, ultrapassando os 2 milhões de hectares, sendo que 97,28%, dessa área, correspondia a povoamentos de Eucalipto. Neste mesmo ano, a região Norte do Estado apresentou uma área florestal plantada de 526,7 mil hectares, correspondendo a aproximadamente 28% da área plantada de Minas Gerais (IBGE, 2020).

O Eucalyptus apresenta-se como uma cultura de curta rotação (6 – 7 anos) e se tornou essencial para abastecimento industrial da siderurgia, celulose, biomassa para caldeiras. Neste sentido, embora a plantação de eucalipto contribua para a fertilidade de áreas degradadas, afeta diretamente o solo, água e biodiversidade nativa (Santarosa; Penteado & Goulart, 2014). O plantio do Eucalyptus ao redor do mundo tem causado grandes discussões pelos impactos ambientais causados em meio a sua inserção, no entanto, não há um consenso sobre a cultura (Meirelles & Calazans, 2006).

Portanto, a quantificação da evapotranspiração (ET) é essencial para o manejo hidro agrícola, pois representa a demanda hídrica das culturas (Silva et al., 2018). A evapotranspiração (ET) é a variável mais ativa do ciclo hidrológico e a principal componente no balanço hídrico em ecossistemas agrícolas (Pereira et al., 2013).

A ET é caracterizada pela transferência de água de uma superfície, com qualquer tipo de vegetação, sob qualquer condição de umidade para a atmosfera, e é uma das principais variáveis em manejo hidro agrícola (Bosquilia, 2016). A ET é fortemente influenciada por condições estritas da vegetação como: manejo agrícola, manejo ambiental e parâmetros climáticos (Allen et al., 1998), além das condições meteorológicas como: radiação solar, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa. A compreensão dos fatores relevantes que afetam a ET e sua quantificação precisa, são fundamentais para a agricultura sustentável, conservação florestal, gestão de recursos hídricos e ambientais (Douna et al. 2021).

No entanto, para a obtenção da evapotranspiração real (ETA), de forma direta são necessários procedimentos complexos e dados meteorológicos precisos para auferir medidas ou estimativas precisas (Allen, et al., 1998; Thorp, et al., 2019). Diversos autores destacam as vantagens do uso de modelos matemáticos (físicos e empíricos) em detrimento de medições de campo, especialmente quando são necessárias informações sobre áreas extensas (Rana & Katerji, 2000; Drexler; et al., 2004; Courault et al., 2005; Senay et al., 2011;).

Entretanto, tais modelos fornecem estimativas pontuais que não levam em conta a variabilidade espacial da evapotranspiração ocasionadas por diferentes tratamentos culturais, variabilidade das características do solo, por exemplo. Para resolver este impasse, alguns autores integraram a abordagem do Boletim FAO-56 com técnicas de sensoriamento remoto, no intuito de obter/criar mapas ET e ETa (Ramírez et al., 2018). O sensoriamento remoto tem se mostrado como uma alternativa viável, para a estimativa da evapotranspiração, que oferece informação com alto grau de confiabilidade, rapidez, abrangência e representação espacial (Conceição, 2013).

O *Mapping Evapotranspiration at High Resolution With Internalized Calibration* (METRIC) (Allen et al., 2007) é um modelo de estimativa da evapotranspiração oriundo de técnicas de sensoriamento remoto. Assim como Surface Energy Balance Algorithm for Land SEBAL (Bastiaanssen et al., 1998), também trabalha com o saldo residual do balanço de energia e é fundamentado na base teórica e computacional do mesmo. O METRIC foi criado para ultrapassar as limitações do SEBAL na estimativa da evapotranspiração sobre superfícies mais complexas, limitações estas descritas por Li et al. (2009).

O modelo METRIC foi projetado para produzir mapas precisos de alta qualidade de ET para regiões menores que algumas centenas de quilômetros quadrados, em escala e em alta resolução (Anderson et al., 2004). No METRIC, o balanço de energia baseado em imagem de satélite é calibrado internamente em duas condições extremas (seco e úmido), usando dados meteorológicos disponíveis localmente (Allen et al., 2007a).

Com o intuito de reduzir erros no processo de calibração e como meio de automação da montagem e manuseio de dados, acelerando assim as etapas para obter a evapotranspiração, o aplicativo EEFLUX (*Earth Engine Evapotranspiration Flux*) foi desenvolvido na plataforma do GGE (*Google Earth Engine*), possibilitando assim obter, em poucos minutos, estimativas de ET para qualquer data e cena do satélite LANDSAT (Allen et al., 2015).

O METRIC vem sendo apresentado como ótima ferramenta para determinação da evapotranspiração em diferentes sítios (Madugundu et al., 2017; Lima et al., 2020). A Tabela 2 (extraída e adaptada de Sena et al., 2021) contém validações do modelo e sua aplicabilidade.

O METRIC vem sendo apresentado como ótima ferramenta para determinação da evapotranspiração em diferentes sítios (Madugundu et al., 2017; Lima et al., 2020). A Tabela 2 (extraída e adaptada de Sena et al., 2021) contém validações do modelo e sua aplicabilidade.

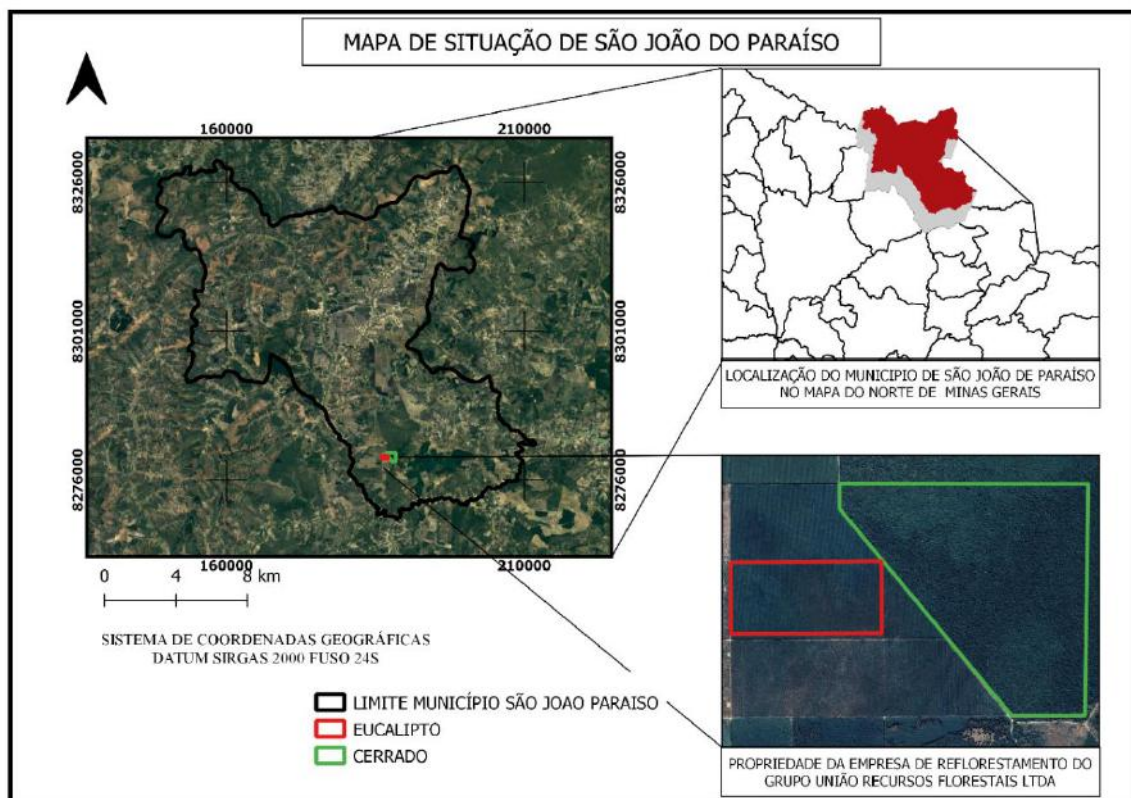
Quanto ao algoritmo METRIC, na versão do Google EEFlux, Allen et al. (2015) afirmam que a nova ferramenta é capaz de calcular valores de evapotranspiração atual (ETa) comparáveis aos valores encontrados pelo algoritmo METRIC, na sua versão tradicional. Nisa et al. (2021) observaram, em seu estudo, estimativas razoáveis com incerteza média (RMSE = 1,2 mm dia⁻¹), além disso, o aplicativo apresentou concordância razoável para safras altas como milho. O mesmo foi observado no estudo da cultura do milho conduzido no Brasil usando a ferramenta METRIC-EEFlux (Costa et al., 2020).

Objetivou-se com este trabalho estimar e comparar a evapotranspiração de uma área de reflorestamento (eucalipto) e de Cerrado, na cidade São João do Paraíso/MG, utilizando-se de imagens orbitais do satélite LANDSAT 8 processadas através do algoritmo Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) na plataforma do Google Earth Engine, Earth Engine Evapotranspiration Flux EEFLUX, avaliou-se também o comportamento do NDVI em função do Kc.

2. Metodologia

O trabalho foi realizado em uma propriedade rural localizada no município de São João do Paraíso/MG (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de situação da área de estudo.



Fonte: Autores.

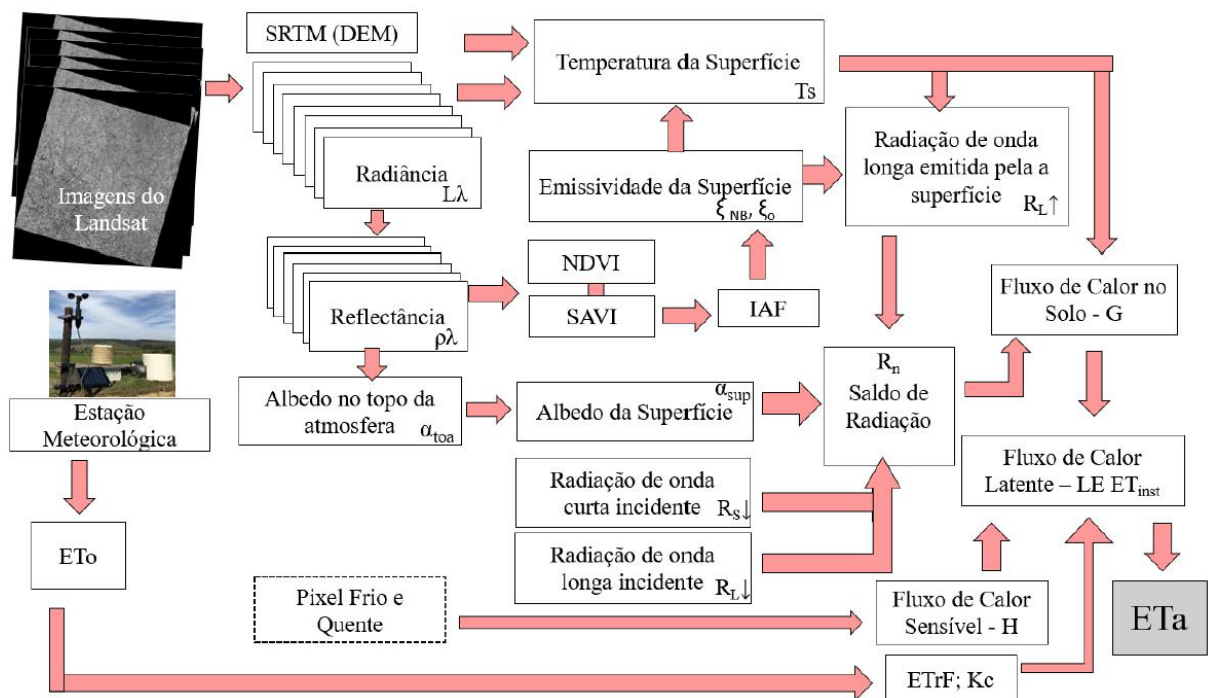
Segundo Martins et al. (2018), conforme classificação de Köppen, o clima característico da região é do tipo Aw (clima tropical, com inverno seco). São João do Paraíso é quente todos os meses, com uma estação chuvosa e outra seca.

Na propriedade rural, pertencente a União Recursos Florestais Ltda, foi utilizada uma área do clone tricross (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), cujo plantio foi realizado em 15 de setembro de 2015, e uma área vizinha com a vegetação de Cerrado.

Durante a realização do presente estudo foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8, da órbita/ponto, que corresponderem à área de interesse. Essas imagens foram processadas em nuvem, gratuitamente, junto EEFLUX (<https://eeflux-level1.appspot.com>). O intervalo temporal de obtenção das imagens foi de janeiro de 2017 até outubro/novembro de 2020.

Para a obtenção da evapotranspiração, pelo modelo METRIC, foi utilizada a metodologia descrita por Allen et al. (2007, 2007a), como apresentado no fluxograma na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma de processamento Metric EEFlux.



Fonte:(Sena et al. (2021).

O satélite LANDSAT – 8 está em operação desde fevereiro de 2013, carregando consigo dois sensores, um multiespectral OLI (*Operation Land Imager*) e outro termal TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). As bandas multiespectrais (1-7 e 9) possuem uma resolução espacial de 30 metros, a banda pancromática (8) possui uma resolução de 15 metros e as bandas termais 10 e 11 possuem uma resolução espacial de 100 metros (NASA, 2013). As resoluções radiométricas das imagens são de 16 Bits e o período de revisita é de 16 dias.

Foram utilizadas 28 imagens, compreendendo o período 17/01/2017 até 09/11/2020. Apresentando as datas de: 17/01/2017; 06/03/2017; 22/03/2017; 23/04/2017; 10/06/2017; 20/01/2018; 09/03/2018; 26/04/2018; 12/05/2018; 29/06/2018; 03/10/2018; 22/12/2018; 23/01/2019; 12/03/2019; 29/04/2019; 31/05/2019; 16/06/2019; 02/07/2019; 03/08/2019; 19/08/2019; 20/09/2019; 07/11/2019; 10/01/2020; 11/02/2020; 02/06/2020; 18/06/2020; 08/10/2020; 09/11/2020. Todas as imagens utilizadas foram de dias claros.

Os dados obtidos foram processados no software QGIS ZANZIBAR 3.81 e, após criar um arquivo shapefile das áreas de estudo, através da ferramenta “Estatísticas Zonais” encontrada na caixa de ferramentas do software, obteve-se a média das estimativas de evapotranspiração (ET) para as duas áreas de interesse, as áreas de interesse foram delimitadas através de arquivo shapefile da área de estudo.

Para análise comparativa dos valores obtidos da evapotranspiração do eucalipto (ET_E) e Cerrado (ET_{Cr}), tratando-se de amostras independentes, verificou-se a normalidade e homoscedasticidade das amostras. Posteriormente aplicou-se o teste t de Student não pareado.

3. Resultados e Discussão

Observam-se, na Tabela 3, os valores da evapotranspiração das áreas de reflorestamento (ET_E) e cerrado (ET_{Cr}), em mm d-1, os valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para a área de reflorestamento (NDVI) e cerrado (NDVI Cr) e o número de dias após o transplante do eucalipto (DAT).

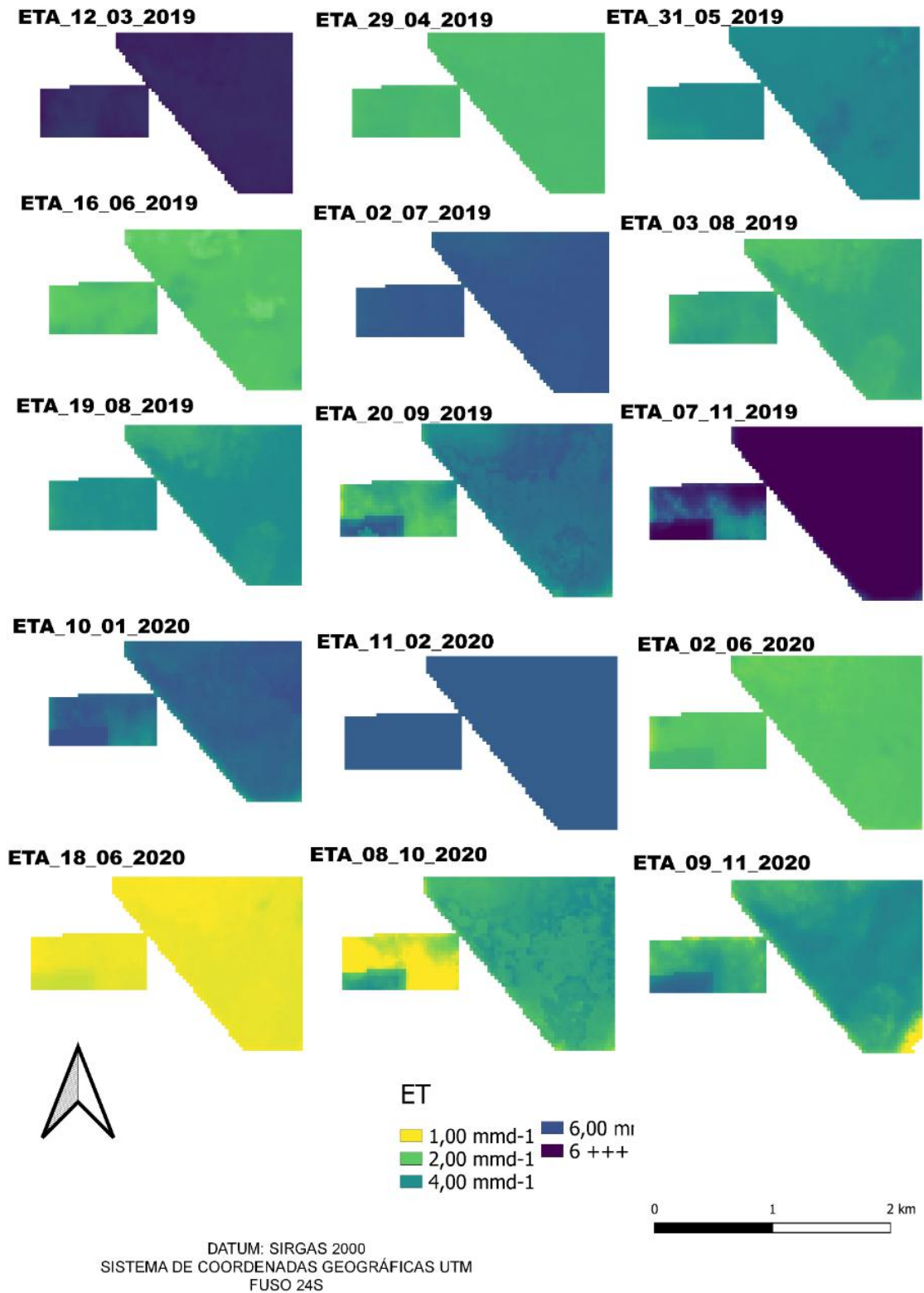
Tabela 3. Dados obtidos através do modelo METRIC-EEFLUX.

Data	ET E (mm d-1)	ETCr (mm d-1)	NDVI E	NDVI CR	ESTAÇÃO DO ANO	DAT	Idade (anos)
17/01/2017	4,87	6,53	0,70	0,88	VERÃO	490	1,3
06/03/2017	4,39	5,62	0,76	0,86	VERÃO	538	1,5
22/03/2017	3,49	5,25	0,78	0,83	OUTONO	554	1,5
23/04/2017	2,68	2,95	0,81	0,87	OUTONO	586	1,6
10/06/2017	4,08	4,17	0,89	0,83	OUTONO	634	1,7
20/01/2018	7,46	7,43	0,84	0,88	VERÃO	858	2,4
09/03/2018	9,56	9,74	0,57	0,66	VERÃO	906	2,5
26/04/2018	2,4	2,51	0,83	0,84	OUTONO	954	2,6
12/05/2018	2,65	2,78	0,77	0,87	OUTONO	970	2,7
29/06/2018	1,22	1,07	0,77	0,68	INVERNO	1015	2,8
03/10/2018	2,94	5,73	0,50	0,61	PRIMAVERA	1114	3,1
22/12/2018	4,99	5,39	0,77	0,87	VERÃO	1194	3,3
23/01/2019	5,89	6,52	0,78	0,87	VERÃO	1226	3,4
12/03/2019	6,36	6,8	0,83	0,87	VERÃO	1274	3,5
29/04/2019	2,62	2,55	0,91	0,92	OUTONO	1322	3,6
31/05/2019	4,13	4,36	0,94	0,88	OUTONO	1354	3,7
16/06/2019	2,32	2,22	0,94	0,80	INVERNO	1370	3,8
02/07/2019	5,73	5,78	0,93	0,79	INVERNO	1386	3,8
03/08/2019	3,27	3	0,86	0,69	INVERNO	1418	3,9
19/08/2019	3,91	3,85	0,85	0,68	INVERNO	1434	3,9
20/09/2019	3,38	4,94	0,66	0,54	INVERNO	1466	4
07/11/2019	5,49	7,47	0,71	0,81	PRIMAVERA	1514	4,1
10/01/2020	5,3	5,34	0,83	0,87	VERÃO	1578	4,3
11/02/2020	5,52	5,56	0,78	0,86	VERÃO	1609	4,4
02/06/2020	2,31	2,19	0,92	0,87	OUTONO	1722	4,7
18/06/2020	1,14	1,12	0,92	0,87	OUTONO	1738	4,8
08/10/2020	1,57	3,26	0,72	0,64	PRIMAVERA	1848	5,1
09/11/2020	3,37	3,57	0,76	0,75	PRIMAVERA	1882	5,2
MÉDIA	4,04	4,56	0,8	0,8			

Fonte: Autores.

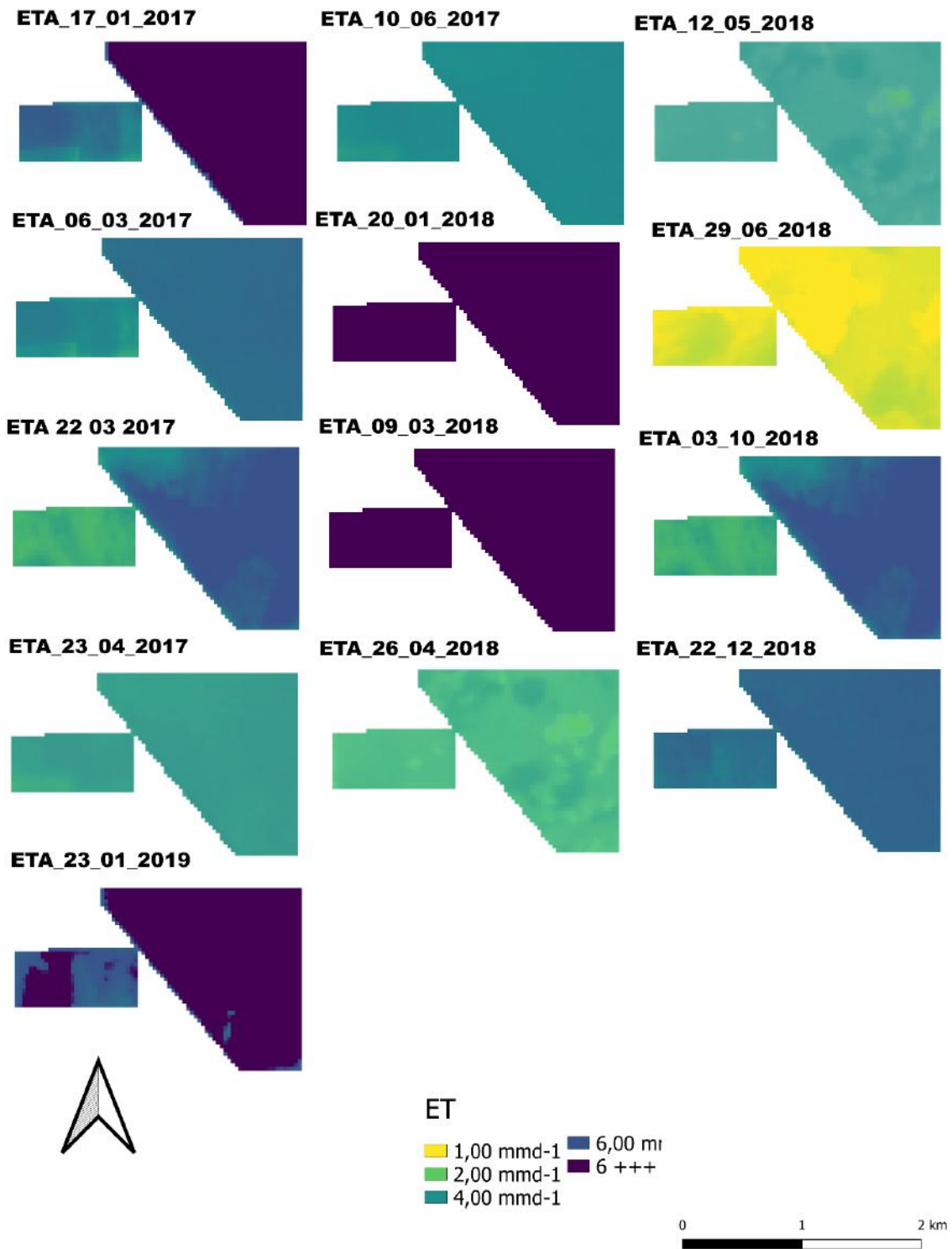
A área de reflorestamento apresentou um consumo correspondendo, em média, a 91% da estimada para a área de cerrado. A variação da evapotranspiração e NDVI para a datas disponíveis foram de: 1,14 a 9,56 mm d-1; 1,07 a 9,74 mm d-1 e 0,5 a 0,94; 0,54 a 0,92 para as áreas de reflorestamento e vegetação nativa, respectivamente. A diferença entre as médias corresponde a 0,52 mm d-1. A evapotranspiração média encontrada foi de 4,04 mm d-1 para a área de reflorestamento e 4,56 mm d-1 para a área de cerrado. Observam nas Figuras 3 a 6 as representações espacializadas de ET e NDVI para a área de estudo.

Figura 3. Mapas de Evapotranspiração Atual para a área de estudo.



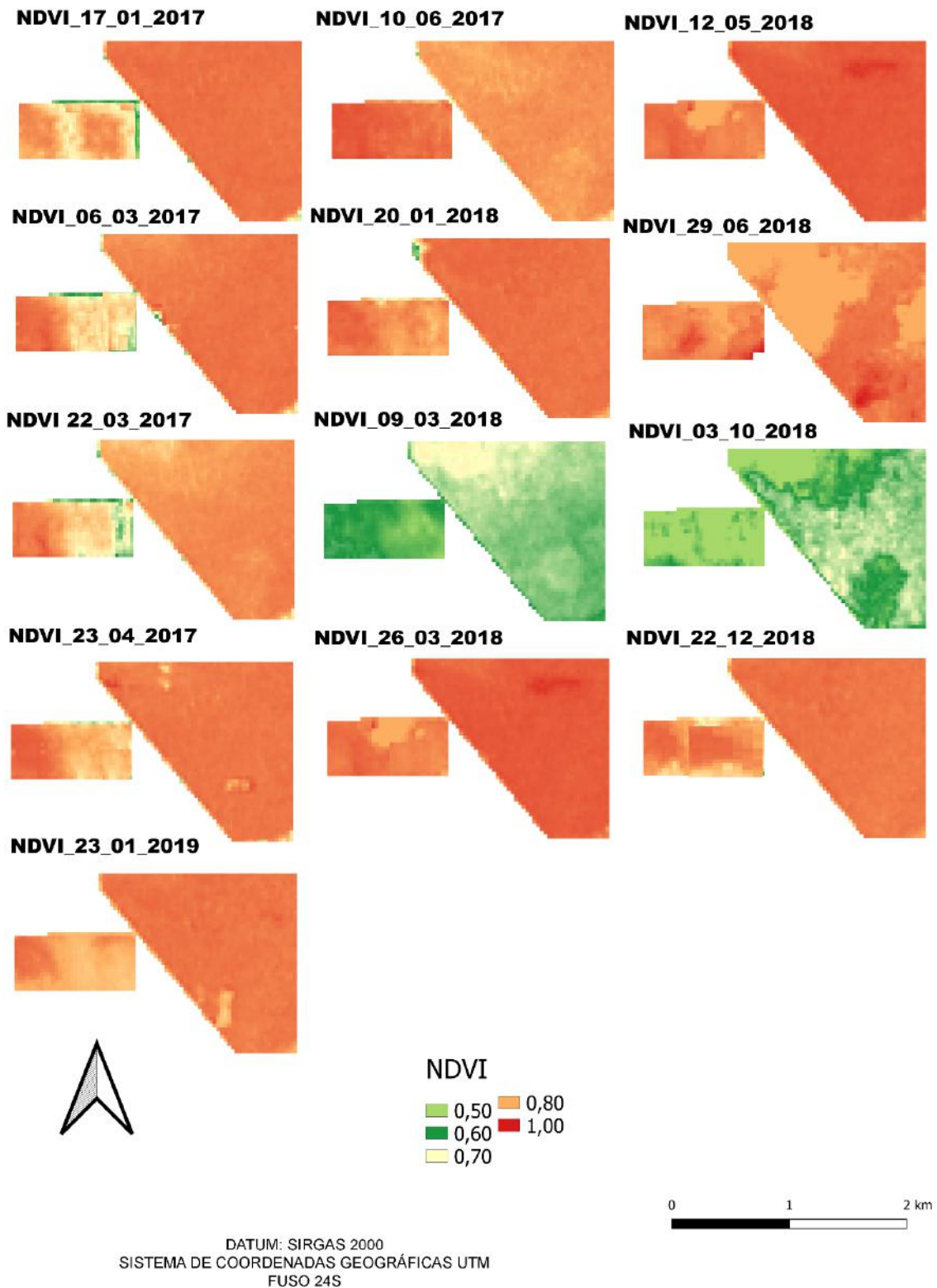
Fonte: Autores.

Figura 4. Mapas de Evapotranspiração Atual para a área de estudo.



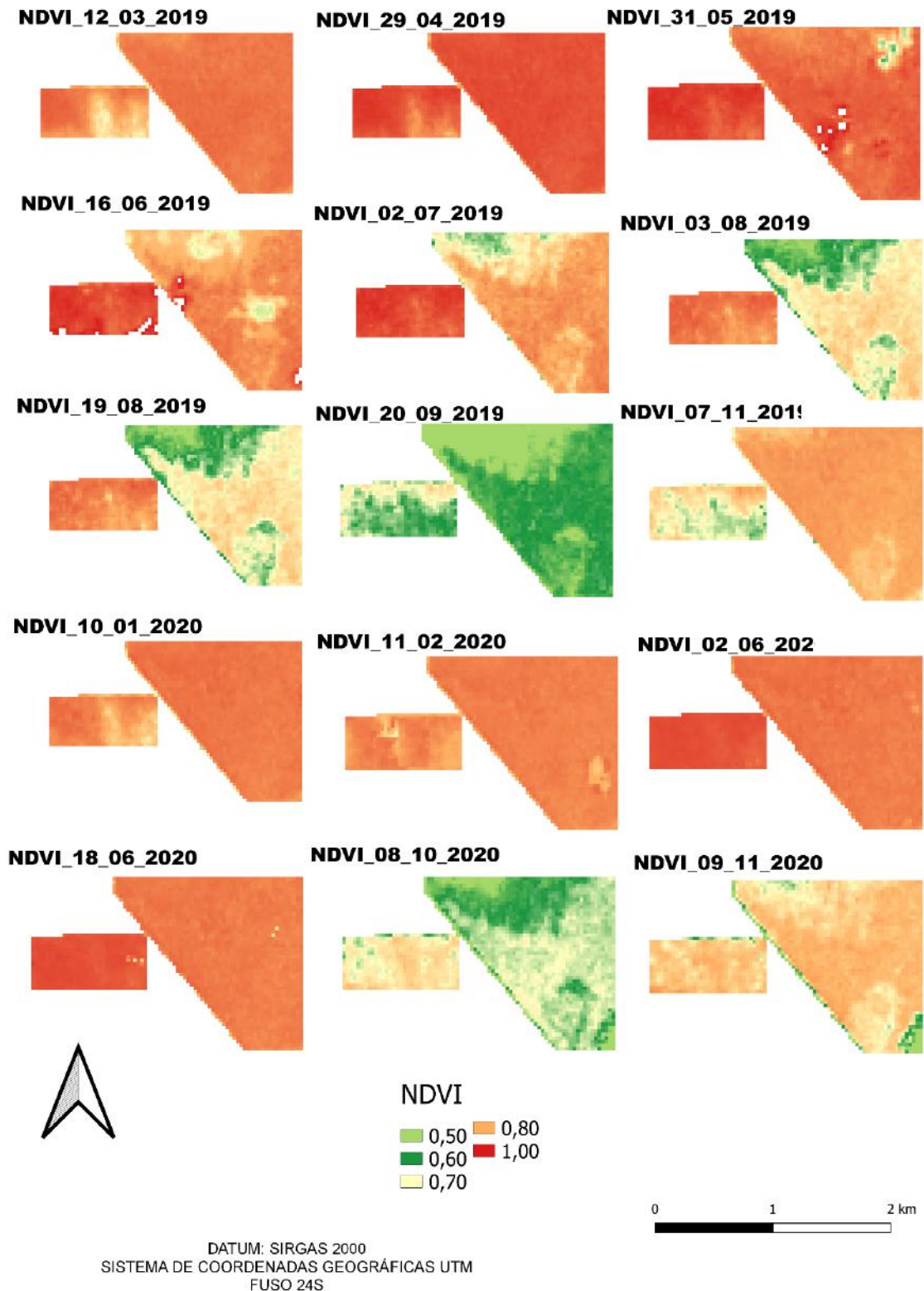
Fonte: Autores.

Figura 5. Mapas de NDVI para a área de estudo.



Fonte: Autores.

Figura 6. Mapas de NDVI para a área de estudo.

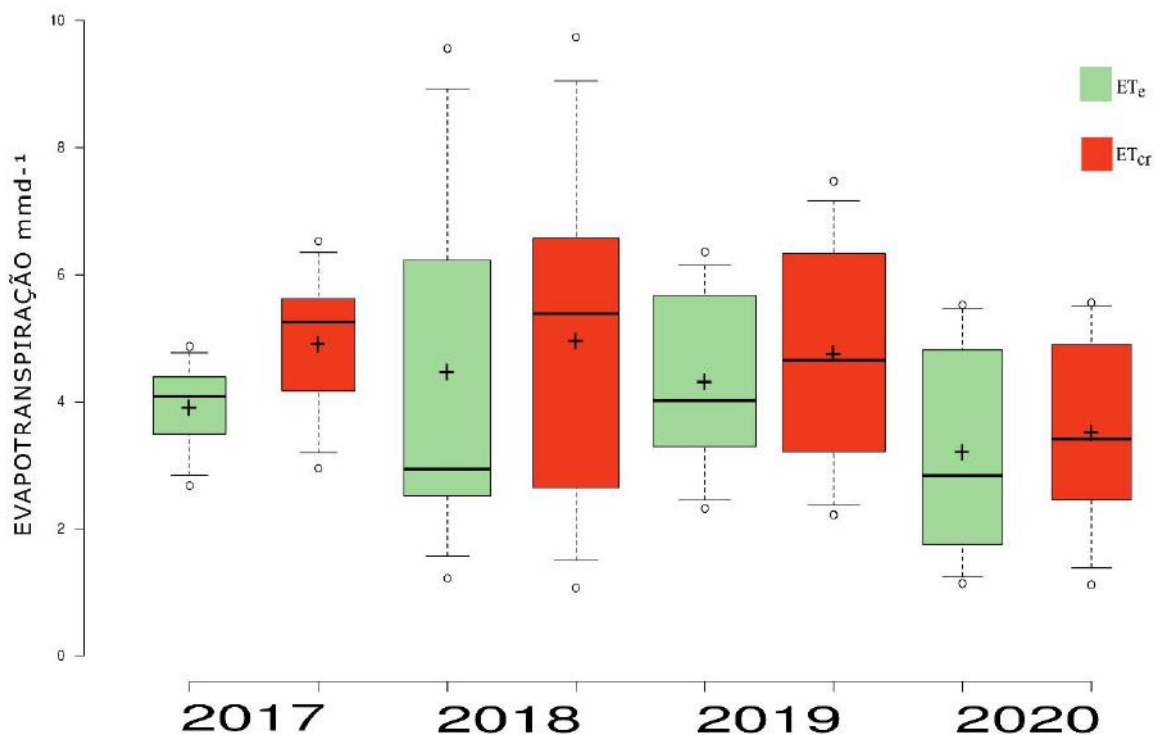


Fonte: Autores.

Para as diferentes datas, os valores de evapotranspiração apresentados na Figura 3, nota-se a variabilidade da ET ao longo da área amostral, que pode ser ocasionada por diferentes motivos como: índice de área foliar, alteração de manejo, fitossanidade e disponibilidade hídrica. Os valores de NDVI (Figura 4) são os que mais sofrem com as alterações da atividade fotossintética, visto que tal índice é fortemente influenciado por tal atividade vem apresentando inúmeras utilidades, Alam, Lamb

e Rahman (2018) testaram a utilização de NDVI para obtenção de K_{cb} e evapotranspiração real do dossel, tal modelo obteve $R^2 = 0,87$. Os boxplot dos valores médios anuais (Figura 7) e por estação do ano (Figura 8) de evapotranspiração do eucalipto (ET_E) e cerrado (ET_{Cr}), são apresentados a seguir.

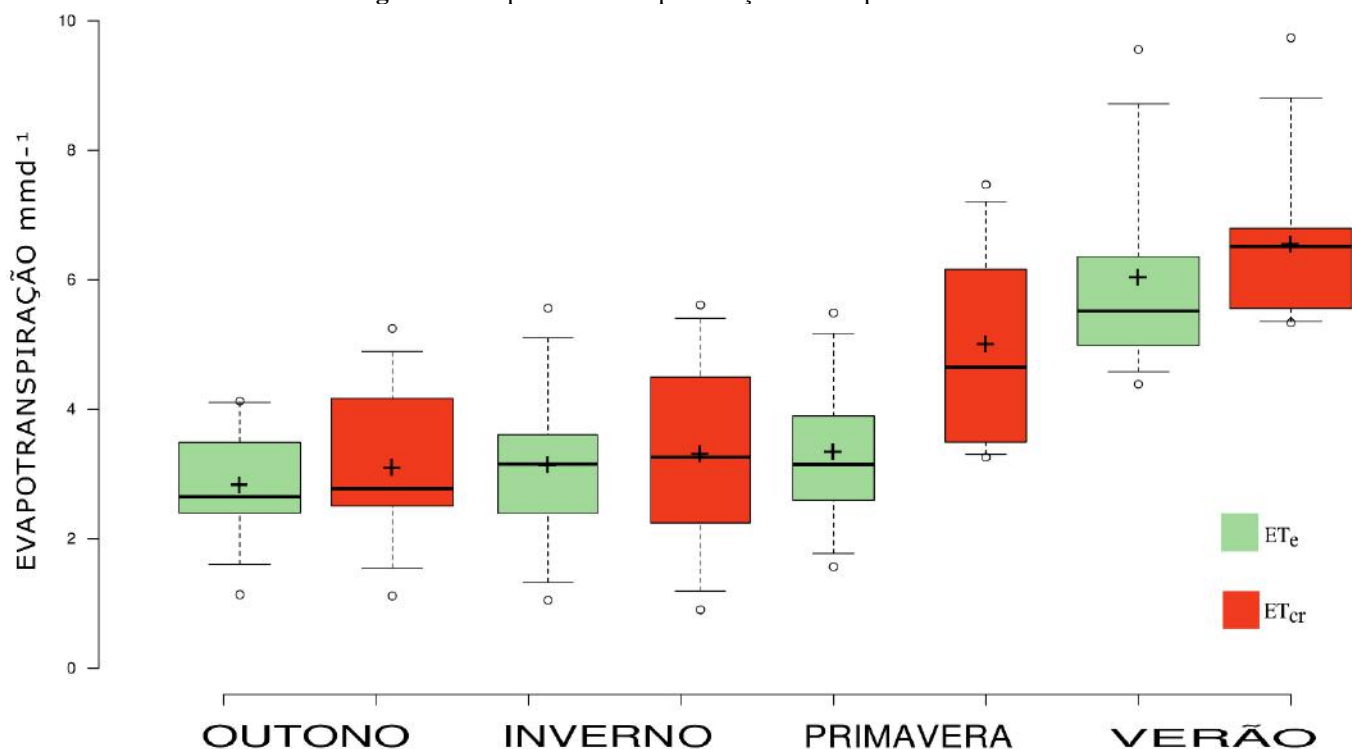
Figura 7. Boxplot realizada anualmente para a área de estudo.



Fonte: Autores.

Observam-se as médias para 2017, de 3,90 mmd^{-1} e 4,90 mmd^{-1} , para 2018, 4,46 mmd^{-1} e 4,95 mmd^{-1} , para 2019, 4,94 mmd^{-1} e 3,20 mmd^{-1} e para 2020, 3,20 mmd^{-1} e 3,51 mmd^{-1} , respectivamente de ET_E e ET_{Cr} .

Figura 8. Boxplot realizada por estação do ano para a área de estudo.



Fonte: Autores.

Observam-se as médias para o inverno de 3,31 mm d^{-1} e 3,48 mm d^{-1} , para o outono 2,83 mm d^{-1} e 3,10 mm d^{-1} , para a primavera 3,34 mm d^{-1} e 5,01 mm d^{-1} e verão apresentando 6,04 mm d^{-1} e 6,55 mm d^{-1} , correspondem respectivamente a ET_E e ET_{Cr} . Nota-se ao realizar interpretação do boxplot cuja apresentaram elevado valor de ET associado a estação verão, tal valor é oriundo dos altos índices de incidência solar ocasionados pelo aumento do fotoperíodo (duração do dia em relação à noite em um tempo de 24 horas) ser maior nesta estação do ano, logo compreende-se um maior valor de Radiação Solar em que conseqüentemente ocasionará uma maior taxa evapotranspirativa e segundo Leite et al. (1999) houve maior valor de ET_c nas parcelas mais densas de *Eucalyptus* durante o período de elevada disponibilidade de água e não é mantida durante os períodos em que ocorre decréscimo dessa disponibilidade.

Sabendo-se que as amostras são oriundas de uma distribuição, são homocedásticas e são independentes (reflorestamento x cerrado), aplicou-se o teste t de Student não pareado, e obteve-se que as médias ($ET_E \times ET_{Cr}$) são estatisticamente iguais ($p < 0,33547$).

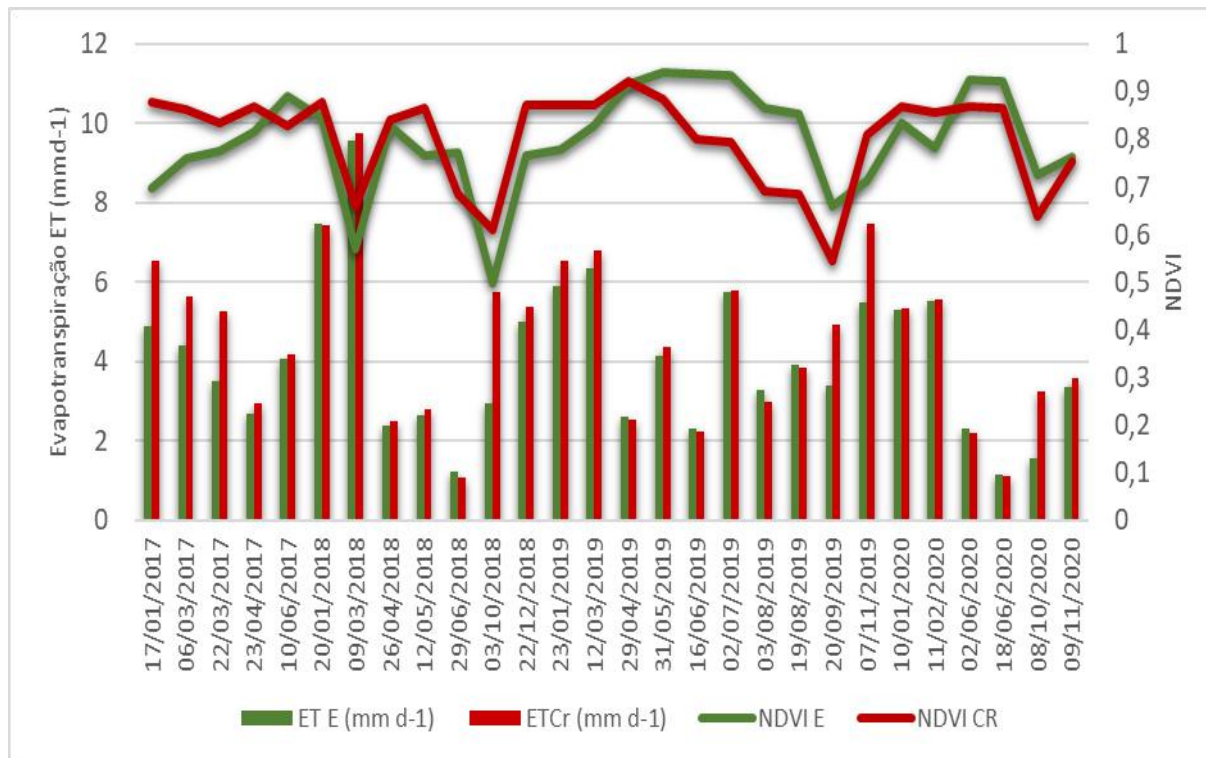
Resultados semelhantes foram encontrados por Salemi et al. (2013), que mencionam que a produção de água anual relativa, apresentaram semelhança entre bacias próximas cobertas por plantações de eucalipto, com idade entre 4 a 5 anos, e Mata Atlântica. Já Garcia et al. (2018) realizaram um estudo em uma bacia hidrográfica composta por 76% de *Eucalyptus spp* e *Pinus spp* 9%, e em suas simulações, observaram que houve um aumento na vazão anual para todas as simulações que reduziam a cobertura florestal, este aumento está associado a uma redução da evapotranspiração.

Já Silva et al. (2004) observaram que a área de reflorestamento obteve menores taxas de ET, em comparação ao cerrado, que possui mecanismos fenológicos de senescência foliar. Algumas espécies do cerrado perdem suas folhas como forma de reduzir a evapotranspiração no período de estiagem (Ishida et al., 2006).

O algoritmo METRIC utilizando o GEE para o seu processamento apresentou resultados satisfatórios e pertinentes. O mesmo apresenta um enorme potencial de melhoria e poderá ser utilizado por pessoas sem conhecimento técnico, proporcionando

facilidade na realização de estudos de bacias hidrográficas e representação espacial. Abaixo a Figura 9, apresenta a evolução temporal da comparação da evapotranspiração e do NDVI.

Figura 9. Evolução Temporal da Evapotranspiração (ET) e do NDVI.



Fonte: Autores.

Segundo Mendes e Anderle (2014), as práticas silviculturais tanto em plantio comerciais e restauração de florestais visam beneficiar e proteger racionalmente os ecossistemas para benefícios ecológicos, científicos, econômicos e sociais. O relatório IBÁ (2015) garante que o plantio em si não é causa de possíveis impactos hidrológicos, mas sim de ações de manejo mal planejadas. Logo é necessário que se faça o emprego de tecnologias apropriadas associadas ao manejo florestal para enfrentar os efeitos negativos da perda de solo por erosão hídrica (Cândido et al., 2014).

4. Conclusão

Diante dos resultados obtidos para o período analisado, conclui-se que a evapotranspiração média foi de 4,04 e 4,56 mm d-1 para a área de reflorestamento e cerrado, respectivamente. As médias de evapotranspiração da área de reflorestamento (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) e cerrado não apresentaram diferença estatística. Ambas as áreas apresentaram média de NDVI igual a 0,8. Em média, as maiores evapotranspirações ocorreram no verão. O algoritmo METRIC associado ao EEFLUX apresentou resultados satisfatórios e se mostrou um potencial ferramenta para realização estudos hidrológicos e manejo de recursos hídricos de forma segura e eficiente.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em especial ao grupo de Pesquisa de HidroVales por todo apoio técnico, discussão e arguição durante a pesquisa e ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Salinas pela disponibilidade de recursos para realização da pesquisa.

Referências

- Alam, M. S., Lamb, D.W., & Rahman, M.M. (2018). A refined method for rapidly determining the relationship between canopy NDVI and the pasture evapotranspiration coefficient. *Computers And Electronics In Agriculture*. 147,12-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.008>
- Allen, R. G et al. (2015). EEflux: A Landsat-based Evapotranspiration mapping tool on the Google Earth Engine. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 1–11.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).?
- Allen, R.; Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 133 (04), 380-394.
- Allen, R.G. et al. (2007a) Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Model. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*.133(4), 380-394. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2007)133:4(380)).
- Anderson, M. C. et al. (2004). A Multiscale Remote Sensing Model for Disaggregating Regional Fluxes to Micrometeorological Scales. *Journal Of Hydrometeorology*. 5(2), 343-363. [http://dx.doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)0052.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1525-7541(2004)0052.0.co;2).
- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M.(1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal Hydrology*. 212(1), 198-212.
- Bosquilia, R. W. D. (2016). Modelagem espacial da evapotranspiração utilizando Modelo de Duas Fontes em ambiente SIG para florestas e cana-de-açúcar. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2016.tde-03102016-165340. Recuperado em 2022-05-14, de www.teses.usp.br
- Cândido, B. M., Silva, M. L. N., Curi, N., & Batista, P. V. G. (2014). Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 38(5), 1565-1575.
- Conceição, M., A. (2013). Ajuste do modelo de hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência no noroeste paulista. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. 7, 306-316.
- Costa, J.O. et al. (2020). Spatial variability quantification of maize water consumption based on Google EEflux tool. *Agricultural Water Management*, 232, 1-8,. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106037>
- Courault, D., Seguin, B., & Olioso, A. (2005). Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: from empirical to numerical modeling approaches. *Irrigation And Drainage Systems*. 19(3-4), 223-249. <http://dx.doi.org/10.1007/s10795-005-5186-0>.
- Douna, V. et al. (2021). Towards a remote sensing data based evapotranspiration estimation in Northern Australia using a simple random forest approach. *Journal Of Arid Environments*. 191(11), 1-15, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104513>.
- Drexler, J. Z. et al. (2004). A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrological Processes*. 18(11), 2071-2101. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.1462>.
- Garcia, L. G. et al. (2018). Hydrological effects of forest plantation clear-cut on water availability: consequences for downstream water users. *Journal Of Hydrology: Regional Studies*. 19, 17-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.06.007>.
- IBÁ -Indústria Brasileira de Árvores. (2015). *Relatório Anual Ibá 2015*. 100.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). *Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura*. Rio de Janeiro, 34, 1-8, ano base-2019.
- Ishida, A. et al. (2006). Contrasting seasonal leaf habits of canopy trees between tropical dry-deciduous and evergreen forests in Thailand. *Tree Physiology*. 26(50), 643-656.
- Leite, F. P. et al. (1999) Relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 23(1), 9-16.<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06831999000100002>.
- LI, Zhao-Liang et al. A Review of Current Methodologies for Regional Evapotranspiration Estimation from Remotely Sensed Data. *Sensors*, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 3801-3853, 19 maio 2009. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s90503801>.
- Lima, J. G. A., Sánchez, J. M., Piqueras, J. G., Espínola Sobrinho, J., Viana, P. C., & Alves, A. da. (2020). Evapotranspiration of sorghum from the energy balance by METRIC and STSEB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 24(1), 24–30. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p24-30>
- Madugundu, R., Al-Gaadi, K. A., Tola, E., Kayad, A. G., & Jha, C. S. (2017). Estimation of gross primary production of irrigated maize using Landsat-8 imagery and Eddy Covariance data. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(2), 410–420. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.10.003>
- Martins, F. B., Gonzaga, G., Dos Santos, D. F., & Reboita, M. S. (2018). CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E DE THORNTHWAITE PARA MINAS GERAIS: CENÁRIO ATUAL E PROJEÇÕES FUTURAS. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>
- Madugundu, R., Al-Gaadi, K. A., Tola, E., Kayad, A. G., & Jha, C. S. (2017). Estimation of gross primary production of irrigated maize using Landsat-8 imagery and Eddy Covariance data. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(2), 410–420. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.10.003>
- Mendes, D., & Anderle, R. J. (2014). Análise da diversificação produtiva da silvicultura em propriedade rural. Repositorio.utfpr.edu.br. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/13504>

Landsat 8 «Landsat Science. (2012). Retrieved from Nasa.gov website: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/>

Nisa, Z., Khan, M. S., Govind, A., Marchetti, M., Lasserre, B., Magliulo, E., & Manco, A. (2021). Evaluation of SEBS, METRIC-EEFlux, and QWaterModel Actual Evapotranspiration for a Mediterranean Cropping System in Southern Italy. *Agronomy*, 11(2), 345. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020345>

Pereira, A. R., Sedyama, G. C., & Villa Nova, N. A. (2013). *Evapotranspiração*. Campinas: Fundag.

Ramírez-Cuesta, J., Mirás-Avalos, J., Rubio-Asensio, J., & Intrigliolo, D. (2018). A Novel ArcGIS Toolbox for Estimating Crop Water Demands by Integrating the Dual Crop Coefficient Approach with Multi-Satellite Imagery. *Water*, 11(1), 38. <https://doi.org/10.3390/w11010038>

Rana, G., & Katerji, N. (2000). Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of Agronomy*, 13(2-3), 125–153. [https://doi.org/10.1016/s1161-0301\(00\)00070-8](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(00)00070-8)

Salemi, L. F., Groppo, J. D., Trevisan, R., de Moraes, J. M., de Barros Ferraz, S. F., Villani, J. P., ... Martinelli, L. A. (2013). Land-use change in the Atlantic rainforest region: Consequences for the hydrology of small catchments. *Journal of Hydrology*, 499, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.049>

Santarosa, E.; Penteadó Júnior, J. F.; Goulart, I. C. G. 2014. *Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda*. Brasília: Embrapa, 138 p. ISBN 976-85-7035-400-6.

Sena, C. C. R. (2021). *Uso do sensoriamento remoto para a estimativa da evapotranspiração atual e diagnóstico do manejo da irrigação da cultura do tomate industrial em Goiás*. Repositorio.bc.ufg.br. Retrieved from <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/11361>

Senay, G. B., Leake, S., Nagler, P. L., Artan, G., Dickinson, J., Cordova, J. T., & Glenn, E. P. (2011). Estimating basin scale evapotranspiration (ET) by water balance and remote sensing methods. *Hydrological Processes*, 25(26), 4037–4049. <https://doi.org/10.1002/hyp.8379>

de Oliveira Ferreira Silva, C., Lilla Manzone, R., & Albuquerque Filho, J. (2018). Large-Scale Spatial Modeling of Crop Coefficient and Biomass Production in Agroecosystems in Southeast Brazil. *Horticulturae*, 4(4), 44. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040044>

Silva, W. et al. “Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária”. *Curitiba: Floresta (UFPR)*, v. 34, n. 3, p. 325-335, 2004.

Thorp, K. R., Marek, G. W., DeJonge, K. C., Evett, S. R., & Lascano, R. J. (2019). Novel methodology to evaluate and compare evapotranspiration algorithms in an agroecosystem model. *Environmental Modelling & Software*, 119, 214–227. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.06.007>

Xue, J., Bali, K. M., Light, S., Hessels, T., & Kisekka, I. (2020). Evaluation of remote sensing-based evapotranspiration models against surface renewal in almonds, tomatoes and maize. *Agricultural Water Management*, 238, 106228. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106228>