

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UNIEVANGÉLICA
CURSO DE AGRONOMIA**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO A PARTIR DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Guilherme Carlos Brandão

**ANÁPOLIS-GO
2019**

GUILHERME CARLOS BRANDÃO

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO A PARTIR DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Anápolis- UniEVANGÉLICA, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Área de concentração: Sensoriamento Remoto.

Orientador: Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza.

**ANÁPOLIS-GO
2019**

Brandão, Guilherme Carlos.

Evapotranspiração do milho a partir de sensoriamento remoto/Guilherme Carlos Brandão – Anápolis: Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, 2019.

34 páginas

Orientador: Prof Dr. João Maurício Fernandes Souza

Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Agronomia – Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, 2019.

1. Irrigação. 2. Necessidade hídrica. 3. SAFER. I. Guilherme Carlos Brandão. II. Evapotranspiração do milho a partir de sensoriamento remoto.

CDU 504

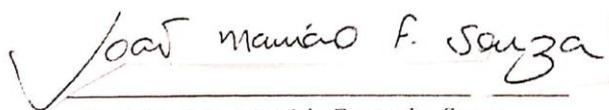
GUILHERME CARLOS BRANDÃO

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO A PARTIR DE SENSORIAMENTO
REMOTO

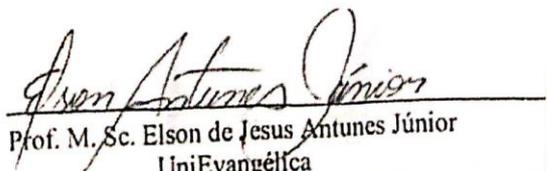
Monografia apresentada ao Centro
Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.
Área de concentração: Sensoriamento
Remoto.

Aprovada em:

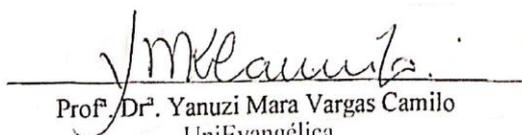
Banca examinadora



Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza
UniEvangélica
Presidente



Prof. M. Sc. Elson de Jesus Antunes Júnior
UniEvangélica
Avaliador interno



Prof. Dr. Yanuzi Mara Vargas Camilo
UniEvangélica
Avaliador interno

Dedico esse trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Digno de glória, honra e louvores, o verbo vivo que viveu entre nós, filho do homem e filho de Deus, agradeço em primeira instância ao nosso senhor Jesus. Sem Deus não sou nada e aqui não chegaria, obrigado meu Deus.

Coloco minha família em pedestal, palavras não são suficientes para expressar meu sentimento de gratidão a vocês. Minha mãe Tania, minha avó Clair, meu Pai Eufrásio e meu irmão Isaac Newton, sem vocês nada disso seria possível. Agradeço pelo apoio não só financeiro, mas por serem meu refúgio nos momentos que surtei e cogitei não chegar até aqui. Agradeço também ao restante da família, tios e tias, primas e primos.

Aos meus amigos que por muitas vezes discutimos e brigamos, mas que sempre estivemos juntos, Mariana, Karita, Victor's, Ronald, Luanna Rodrigues, Danilo, Bleno, Luís, João, Murilo, Tatiane Januário. Muitos não foram citados, mas sou grato a todos aqueles que se consideram meus amigos.

À minha grande amiga Kárita Andressa, obrigado por todos os momentos que compartilhamos e por todas as vezes que com paciência aturou meus momentos de estresse, seguimos caminhos diferentes, mas serei eternamente grato por sua amizade.

Durante essa jornada, do início ao fim mantive uma amizade forte com o famoso “pai de todos”, Wesley Andrade obrigado por tudo que passamos juntos nessa caminhada, obrigado pelos conselhos e dicas, e por sempre estar disposto a ajudar quando precisei.

Agradeço também ao meu amigo Wesley Fernandes, que por motivos pessoais não chegou ao final junto a mim, mas mantivemos uma agradável amizade fora da faculdade, obrigado por tudo meu amigo.

Ao meu amigo Wellington Abreu, agradeço por estar sempre comigo nas horas boas e ruins, obrigado pela ajuda de sempre, e que essa amizade se mantenha.

Em especial agradeço ao Dr. João Maurício, não só ao profissional, mas também a sua pessoa. Sou eternamente grato por tudo que fez para me ajudar, por todas as oportunidades que me proporcionou, não só financeiras, mas como acadêmica também, tu és chamado de anjo pela minha família, sem sua ajuda minha formação seria bem mais difícil. Agradeço a ti também como orientador, que sempre foi uma inspiração, me atendeu e orientou da melhor maneira possível.

Jamais poderia deixar de agradecer ao Dr. José Alexandre Barrigossi, que durante um ano foi meu orientador e conselheiro, que virou um amigo para vida toda. Se hoje sou uma

pessoa melhor, é devido aos seus conselhos e palavras, que me deram sustentação para discernir uma infinidade de ocasiões. A ti agradeço não só pelos conhecimentos e conselhos passados, mas também por me inspirar a ser uma pessoa melhor profissionalmente e pessoalmente, obrigado por sempre acreditar em mim.

À minha querida professora Klênia Pacheco, hoje coordenadora do curso, que com paciência sempre soube lidar com todos os momentos. Agradeço pelas oportunidades que me proporcionou ao longo do curso, e pela confiança depositada em mim, meu eterno agradecimento.

Por último, agradeço a todos os meus professores, João Darós, Josana, Thiago, Clistiane, Cláudia e demais.

“Que homem é um homem que não torna o mundo melhor?”

- Cruzada

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO.....	xi
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. EVAPOTRANSPIRAÇÃO	14
2.2. NECESSIDADE HÍDRICA	15
2.3. BALANÇO HÍDRICO	16
2.4. SENSORIAMENTO REMOTO.....	17
2.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO VIA SENSORIAMENTO REMOTO.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÃO.....	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ARM - Armazenamento de água no solo
- CAD - Capacidade de armazenamento de água no solo
- DEF - Deficiência hídrica
- EXC - Excedente hídrico
- ET - Evapotranspiração
- ETC - Evapotranspiração de cultura
- ETA - Evapotranspiração atual estimada
- ET0 - Evapotranspiração de referência
- ETP - Evapotranspiração potencial
- ETR - Evapotranspiração Real
- EXC - Excedente hídrico
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations
- TDR - Reflectométrico domínio do tempo
- FDR - Reflectometria no domínio da frequência
- KC - Coeficiente de cultivo
- SAFER - Simple algorithm for evapotranspiration retrieving
- SEBAL -
- METRIC –
- SEBS - Surface Energy Balance System
- USGS - United States Geological Survey
- P- Precipitação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Cristalina, Goiás	20
Figura 2 - Fluxograma esquemático para obtenção da Evapotranspiração atual com o algoritmo SAFER	22
Figura 3 - Comparativo entre ETa SAFER e ETc FAO, durante as fases de desenvolvimento da cultura do milho	26
Figura 4 - Expressão gráfica do comparativo entre os valores de kc estimados pelo modelo SAFER e método FAO	28
Figura 5 - Mapas dos valores de Kc, obtidos pelo método SAFER referente ao período de estudo	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de cultivo, para cada fase de desenvolvimento estudada na cultura do milho	21
Tabela 2 - Evapotranspiração da cultura do Milho, na área estudada., expressa em valores médios	26
Tabela 3 - Coeficiente de cultivo (Kc), pelo método SAFER, expresso em valores médios...	27
Tabela 4 - Parâmetros estatísticos para os valores de ETa SAFER comparado a ETc FAO...	29

RESUMO

As informações agrometeorológicas são utilizadas para as mais diversas atividades dentro do cultivo de plantas, o conhecimento dessas é indispensável para auxiliar na realização de um manejo eficiente dos recursos hídricos na agricultura irrigada. Sendo que os dados de evapotranspiração (ET) são frequentemente utilizados e necessários como critério indispensável nas operações de irrigação, cálculo do balanço hídrico e zoneamento climático. A utilização do sensoriamento remoto por imagens de satélite possibilita a estimativa da ET em uma escala espacial maior do que os outros métodos, como os micrometeorológicos, vantagem que tem contribuído significativamente aos estudos de gestão dos recursos hídricos. Para estimativa da ET por sensoriamento remoto, foi utilizado algoritmo o SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) que possui uma parametrização mais simples, possibilitando a estimativa apenas com dados remotos de albedo, NDVI e temperatura. Além disso, o SAFER possibilita o uso de dados de estações meteorológicas convencionais e automáticas, essa característica é uma grande vantagem, pois possibilita a avaliação das tendências históricas em larga escala, visto que os sensores automáticos são eventos recentes. Diante do exposto, o objetivo foi avaliar a viabilidade do algoritmo SAFER na obtenção da evapotranspiração do milho e seus respectivos coeficientes de cultivo (k_c) aplicando um comparativo entre os resultados do SAFER e os resultados da evapotranspiração de cultura padrão FAO 56. O estudo foi realizado na fazenda Larga Grande, Cristalina-GO, entre os meses de maio e agosto. Para estimativa da ET_a e os respectivos K_c 's a partir do SAFER, foram utilizadas imagens do Satélite LANDSAT 8 (OLI/TIRS), adquiridas de forma gratuita do banco de dados do United States Geological Survey - USGS. As imagens utilizadas foram aquelas que apresentaram ausência de nuvens no período de desenvolvimento da cultura após a emergência. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi calculada pelo método de Penman-Monteith, usando dados meteorológicos de estações meteorológicas próximas aos locais de cultivo. Os resultados obtidos foram significativos, de acordo com a metodologia de estatística utilizada, em que o maior erro absoluto observado foi de 0,54mm, apresentando significativa correlação entre a ET_a SAFER e ET_c FAO (correlação de Person $R= 0,91$; índice de Willmott $d= 0,85$ e índice de confiança Camargo e Sentelhas $c= 0,75$, em que, a concordância perfeita se aproxima de um), dessa forma, o método de estimativa da ET_a pelo modelo SAFER pode ser utilizada na cultura do milho.

Palavras-chave: Necessidade hídrica, irrigação, SAFER.

1. INTRODUÇÃO

Para um manejo eficiente da água na agricultura irrigada é essencial a aquisição de informações meteorológicas que colaborem no gerenciamento dos recursos hídricos. Os dados de evapotranspiração (ET) são constantemente utilizados como critério primordial nas operações de irrigação, no cálculo de balanço hídrico e no zoneamento agroclimático (FRANCO et al., 2015).

De acordo com Pereira et al. (1997), o balanço hídrico em um ambiente vegetado é a contabilização de entradas e saídas da água em um determinado volume de solo em um certo período de tempo. Essa tem como limite superior a superfície do solo e como limite inferior tem-se o sistema radicular das plantas de interesse, dessa forma pode-se verificar déficit ou excesso de água no local avaliado.

Segundo Sales (2016), a obtenção da ET é indispensável para o manejo da irrigação, pois ela corresponde à demanda hídrica da cultura, dessa forma, seu conhecimento evita desperdícios de água e quebras de produtividade. Existem métodos diretos e indiretos para sua obtenção, lisimetria de pesagem, drenagem e lençol freático constante são métodos diretos, razão de Bowen, balanço hídrico, correlações turbulentas e o sensoriamento remoto (mais recente) são métodos indiretos.

Métodos que possam estabelecer o balanço hídrico das culturas a partir de sensoriamento remoto mostram-se muito benéficos, por serem aptos a proporcionar sua estimativa em áreas heterogêneas e de grande dimensão, fato não conferido a métodos diretos como de lisímetros. Métodos diretos apresentam precisão, mas dificuldade de espacialização, representando valores pontuais de localização específica (BEZERRA et al., 2008; GIACOMINI; MENDES, 2008).

A associação do sensoriamento remoto com dados de estações meteorológicas permite avaliar variáveis para possível melhora do manejo da irrigação e um possível indicativo da quantidade de água necessária a ser aplicada. Os métodos de sensoriamento remoto têm sido utilizados com eficiência na estimativa do balanço da radiação de superfície, fluxos de calor e evapotranspiração (SALES, 2016).

Andrade et al. (2008) citado por Souza (2016), coloca que a determinação da ET pode ser feita a partir de sensoriamento remoto com imagens de satélite, com aplicação de algoritmos aliados a modelos físicos, com ênfase para o SEBS (Surface Energy Balance System), METRIC

(Mapping Evapotranspiration at High Resolution With Internalized Calibration) e o SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving).

O SAFER tem apresentado resultados satisfatórios na estimativa da ET em larga escala, uma vantagem desse algoritmo é de não precisar obrigatoriamente da banda termal e de poder ser aplicado com dados de estações meteorológicas de diferentes tipos (analógicas, convencionais e automáticas) (TEIXEIRA et al., 2013).

A base teórica do SAFER usa imagens adquiridas por satélites como o LANDSAT 8 (OLI/TIRS) nas bandas do visível e do infravermelho próximo. Dessa forma, a estimativa da ET e dos coeficientes de cultura (K_c) a partir de imagens de satélite se mostram proveitosos, já que são capazes de assegurar a obtenção da ET em áreas com diferentes características de cobertura e uso do solo (SALES, 2016).

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar a viabilidade do algoritmo SAFER na obtenção da evapotranspiração do milho e seus respectivos k_c 's, aplicando um comparativo entre os resultados do SAFER e os resultados de evapotranspiração de cultura padrão FAO 56.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evaporação é um processo físico no qual um líquido passa para o estado de vapor, esse fenômeno ocorre naturalmente em lagos, rios, solo e vegetação. Na agricultura irrigada, coloca-se em destaque a transição da água do solo para a atmosfera em forma de vapor. A transpiração é um processo evaporação que ocorre nas plantas, sobretudo nas superfícies das folhas, dessa forma a perda de água das plantas para a atmosfera é denominada transpiração. A evapotranspiração (ET) é a resultante da perda de água do solo para a atmosfera com a perda de água da vegetação para a atmosfera (PEREIRA et al., 1997).

A evapotranspiração de referência (ET_0) consiste na transferência de água do conjunto solo-plantas para a atmosfera em condições padronizadas de superfície, completamente coberta por uma vegetação (hipotética) rasteira de altura uniforme e com alto índice de área foliar, cobrindo totalmente a superfície do solo e com teor de água no solo próximo à capacidade de campo. Acontecendo assim a transferência de água do sistema apenas com balanço vertical de energia (ALLEN et al., 1998; CARVALHO et al., 2011).

A cultura hipotética utilizada para obtenção da ET_0 deve seguir os parâmetros acima citados e apresentar outros parâmetros como: altura de 12cm, albedo igual a 0,23 e resistência da cultura ao transporte de vapor d'água igual a 69 s m^{-1} (ALLEN et al., 1998). Conhecendo-se a ET_0 é possível estimar o consumo de água das culturas a partir de um fator de correção (K_c), este converte o consumo de referência obtido nas condições climáticas locais em consumo de água pela cultura em seus diferentes estádios fenológicos. Assim, a ET_0 torna-se um indicativo da demanda hídrica potencial (ET_p) das culturas de um determinado local e período (SOUZA, 2016).

A evapotranspiração real (ET_r) representa a evapotranspiração de determinada cobertura de solo ou qualquer cultura em qualquer estágio fenológico, estando ou não com déficit hídrico ou algum fator que impeça a sua taxa potencial (ALLEN et al., 1998). Se a cultura em questão apresentar total disponibilidade hídrica, através da relação ET_p/ET_0 é determinado o valor de K_c , que expressa a razão entre ET_p e ET_0 , o K_c irá variar conforme a cultura, certo que a demanda hídrica da planta varia de acordo com a radiação solar no local, variedade, tipo de solo e estágio fenológico (SOUZA, 2016).

2.2. NECESSIDADE HÍDRICA

A necessidade hídrica de um vegetal é o quanto de água ele requer, durante um determinado período de seu ciclo fenológico, ou durante todo ele, de modo que não limite o seu crescimento, desenvolvimento e produção, nas condições climáticas ideais, em base, é a quantidade de água que necessária para suprir a evapotranspiração de cultura (OLIVEIRA, 2015).

Para contabilização da estimativa de água consumida pelas culturas, existem diversos métodos. A quantidade de água evapotranspirada em um sistema vai depender principalmente da planta, solo e clima, de modo que esta última variável é predominante sobre os demais, de maneira que a quantidade de água requerida pela cultura varia com a extensão territorial coberta pelo vegetal e com as estações do ano (BERNARDO et al., 2005).

Os processos de evaporação das superfícies somado à transpiração dos vegetais é denominado evapotranspiração, como já relatado. A transpiração aumenta conforme o desenvolvimento da cultura, atingindo níveis máximos na floração, período em que as plantas cobrem totalmente o solo; a evapotranspiração se comporta em ritmo semelhante, visto que a transpiração é seu componente mais importante, uma vez que a evaporação do solo diminui com desenvolvimento da cultura (SANTANA et al., 2011).

Bernardo et al. (2005), diz que o conhecimento da evapotranspiração máxima nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas cultivadas, são imprescindíveis para o planejamento e manejo eficiente da irrigação. Do início ao final do desenvolvimento vegetal, uma cultura cresce progressivamente a ponto de ocupar toda a área disponível (OLIVEIRA, 2003).

O manejo da irrigação abrange uma tomada de decisão a respeito de quando irrigar e quanto de água aplicar ALVES JÚNIOR et al., 2007). A quantidade de água a ser aplicada pode ser definida como sendo o consumo de água da cultura, dividida pela eficiência do sistema de irrigação, visto que o consumo de água pode ser determinado pela estimativa da evapotranspiração real (ET_r) (BERNARDO et al., 2005).

Segundo ALBUQUERQUE (2010), a necessidade hídrica do milho no território brasileiro pode variar de 380 a 550 mm, dependendo das condições climáticas. O autor ainda comenta sobre o período crítico compreender o embonecamento: em caso de ocorrência de estresse hídrico antes dessa fase pode ser observado reduções de rendimento de 20 a 30%, durante o embonecamento ocorre reduções de 40 a 50% e após ocorre reduções de 10 a 20%

2.3. BALANÇO HÍDRICO

O planejamento hídrico é o alicerce para dimensionamento de qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, dessa forma, o balanço hídrico possibilita uma primeira avaliação na escala macro, da disponibilidade de água no solo. Como unidade de gerenciamento, o balanço hídrico permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático, o período de disponibilidade e necessidade de água no solo, como também favorece o planejamento integrado dos recursos hídricos (PEREIRA et al., 1997).

A contabilização da quantidade de água em uma camada de solo possibilita definir os períodos secos (déficit hídrico) e úmido (excedente hídrico) de um determinado local (REICHARDT, 1990). Segundo Pereira (2002), os principais componentes do balanço hídrico para determinar a demanda e disponibilidade de água é a precipitação (P), evapotranspiração real (ET_r), evapotranspiração potencial (ET_p), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC) (THORENTHWAITE;MATHER, 1995).

A contabilização das entradas e saídas de água em um sistema é expressada pela equação 1, resultando na variação de armazenamento de água no solo.

$$\Delta ARM = P + O + I + RI + DLi + AC - ET - Ro - DLo - DP \quad [1]$$

Onde, P= precipitação; O= orvalho; I= irrigação; RI= escoamento superficial; DLi= escoamento sub-superficial; AC= ascensão capilar; ET= evapotranspiração; Ro= escoamento superficial; DLo= escoamento sub-superficial; DP= drenagem profunda.

De acordo com Souza (2016), uma das diversas formas de se contabilizar o balanço hídrico no solo é através do método proposto por Thornthwaite; Mather (1955), designado balanço hídrico climatológico, em que a partir dos dados de P, ET e CAD (capacidade de armazenamento de água no solo), é possível obter a disponibilidade de água no solo (ARM), a alteração do armazenamento de água no solo (ALT= ΔARM), a evapotranspiração real (ET_r), a deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC= DP).

Para determinar a evapotranspiração através do balanço hídrico, equipamentos como lisímetros são comumente utilizados. O lisímetro representa o melhor método para avaliar a perda de água do solo e da superfície das culturas de forma precisa, e tem sido empregado no desenvolvimento e validação de testes micrometeorológicos teóricos que visam determinar a evapotranspiração, desde que a cultura esteja emparelhada dentro e fora do lisímetro (ALLEN et al., 1998).

O método do balanço hídrico no solo tem sido muito estudado e utilizado por ser mais barato que os métodos micrometeorológicos e de lisímetros de pesagem, e por apresentar boa concordância ao ser comparado a esses métodos. Para desenvolver o balanço hídrico é preciso mensurar o conteúdo de água no solo, as técnicas para tal procedimento variam entre amostragem direta, como o método gravimétrico, e amostragem indireta, como sonda de nêutrons e vários sensores de umidade incluindo blocos de resistência e sondas de TDR (reflectométrico domínio do tempo), que podem ser instalados a várias profundidades (SOUZA, 2016).

Diversos métodos têm sido empregados para determinar a umidade do solo como alternativa ao método gravimétrico, como a sonda de nêutrons, resistência elétrica, reflectometria no domínio do tempo (TDR) e a reflectometria no domínio da frequência (FDR) que retratam a grande vantagem de permitir o monitoramento do conteúdo de água no solo, com intuito de manejar a irrigação deficitária e caracterizar a resposta das culturas ao estresse hídrico, uma vez que, os tensiômetros nos períodos mais críticos perdem a escorva (-80 kPa) (SOUZA; MATSURA, citado por SALES (2016).

Os sensores FDR, também chamados de sensores de umidade do solo por capacitância, tem apresentado como principais vantagens, a segurança para operador por não utilizar fonte radioativa, como na sonda de nêutrons (ANDRADE JÚNIOR et al., 2008). A sonda de capacitância é composta por um par de elétrodos de placas ou elétricos que funcionam como um capacitor eletrônico. A matriz de solo-água-ar quando ativada funciona como um dielétrico (isolante) do capacitor e completa um circuito oscilante (HENG et al., 2002).

2.4. SENSORIAMENTO REMOTO

Utiliza-se o termo Sensoriamento remoto para descrever a tecnologia que permite mensurar as propriedades de um objeto sem obter direto contato com este, os objetos de interesse na superfície são culturas agrícolas, vegetação natural, solos, formações rochosas e corpos de água, entre outros. Esses objetos são, em sua conjuntura, denominados genericamente de alvos (LIMA, 2010).

Segundo Lillesand et al. (2004), existem inúmeras maneiras de caracterizar os sistemas de sensoriamento remoto que, podem ser discriminados quanto ao nível de aquisição (terrestre, aéreo e orbital) ou quanto ao processo de detecção, por exemplo, fotográfica ou eletrônica. Um sensor remoto tem como função principal captar e medir a quantidade de energia refletida, ou

emitida pelos alvos, de maneira a obter informações sobre a natureza e suas condições (culturas agrícolas, florestas, rochas, solos, queimadas, corpos d'água e outros) (LIMA, 2010).

O sensoriamento remoto a partir de imagens de satélite vem sendo aplicado na agricultura moderna, e tem se mostrado uma ferramenta interessante para quantificação do balanço da energia. Uma grande vantagem, é o fato de poder ser utilizado em larga escala espacial e temporal, o que permite estudos ao longo do período desejado, podendo verificar as alterações meso-climáticas ocasionadas pela mudança no uso das terras ao longo dos anos (COMPAORÉ et al., 2008).

A determinação da evapotranspiração é extremamente importante para o gerenciamento dos recursos hídricos, especialmente para avaliar e quantificar a necessidade hídrica das culturas irrigadas. A escolha do método para estimativa da evapotranspiração deve ser realizada considerando a praticidade e a precisão, pois, apesar dos métodos teóricos e micrometeorológicos serem fundamentados em princípios físicos, esses demonstram limitações, principalmente quanto a instrumentação, fato que pode limitar a sua utilização (LIRA, 2008).

2.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO VIA SENSORIAMENTO REMOTO

Vários são os métodos para estimar os valores da ET_0 , desde os puramente empíricos até aos que apresentam embasamento físico sobre o fenômeno (CARVALHO et al., 2011). Entretanto, o método de Penman-Monteith FAO veio a ser o mais utilizado como padrão de comparação a nível mundial (PEREIRA et al., 2015). Classificado como método combinado de obtenção da ET_0 por unir métodos empíricos a métodos de balanço da energia, este utiliza a grama como cultura de referência, cujas características estão citadas anteriormente, e é definido pela equação 2:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma 900 T_a + 273 u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad [2]$$

Onde, Δ = declinação da curva de saturação do vapor de água (kPa °C⁻¹); R_n = saldo de radiação ou radiação líquida (MJ m⁻² dia⁻¹); G = densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T_a = temperatura média do ar a 2 m acima da superfície (°C); u_2 = velocidade média do ar a 2 m acima da superfície (m s⁻¹); e_s = pressão de saturação do vapor (kPa); e_a = pressão atual do vapor (kPa); $e_s - e_a$ = déficit de pressão de vapor (kPa).

Os métodos mais difundidos de para obtenção da evapotranspiração atual em larga escala como o SEBAL e o METRIC, estão fundamentados no balanço da energia através do sensoriamento remoto (SEBAL) e na utilização da razão entre evapotranspiração atual e de referência na extrapolação dos valores da evapotranspiração atual no momento da passagem do satélite (METRIC) (TEIXEIRA et al., 2013b).

Como alternativa a tais metodologias que primordialmente não foram projetadas para as condições do Brasil, surge o SAFER que supre as desvantagens apresentadas por esses métodos, relacionada a identificação das condições hidrológicas extremas em uma imagem, sobretudo na identificação do pixel quente no período chuvoso, embora o SEBAL foi calibrado e validado para as condições semiáridas brasileiras (TEIXEIRA et al., 2009). Entretanto, o SAFER foi calibrado para condições climáticas do noroeste paulista, apresentando um melhor desempenho em condições de solo pouco coberto e menor índice de cobertura vegetal. Posteriormente o SAFER também foi calibrado para outras regiões brasileiras (HERNANDEZ et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no município de Cristalina-GO, a cultura utilizada para tal, foi o milho grão cultivado sob sistema de irrigação por pivô central (coordenadas X: -47,55; Y: -16,35). O período de estudo foi de maio a agosto, que abrange o período de estiagem no cerrado, esse período facilita a obtenção de imagens de satélite sem presença de nuvens.

Segundo a classificação climatológica de Köppen, o clima da região é determinado como Aw, com temperatura anual média em torno de 22°C e precipitação podendo chegar a 1500mm por ano, em média. Apresenta uma altitude média de 850m acima do nível do mar, apresentando locais com mais de 1.100 metros de altitude.

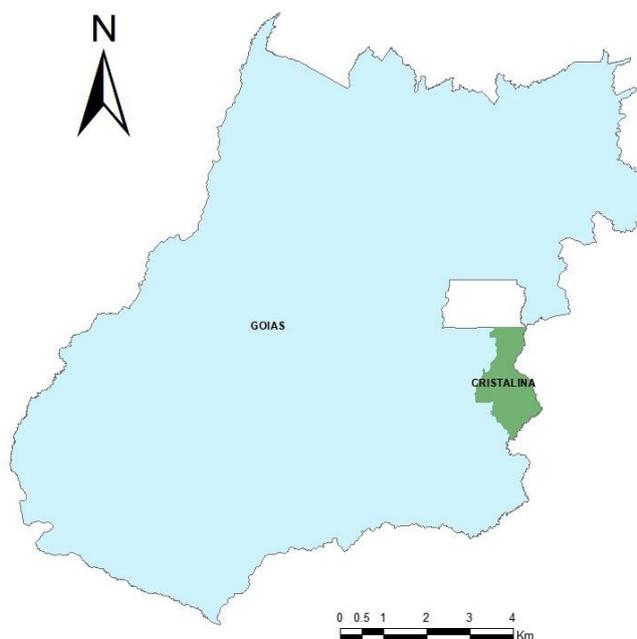


Figura 1 – Localização do município de Cristalina, Goiás.

Fonte: Autor, 2019.

Para estimativa da ETa e os respectivos Kc's a partir do SAFER, foram utilizadas imagens do Satélite LANDSAT 8 (OLI/TIRS), adquiridas de forma gratuita do banco de dados do United States Geological Survey - USGS. As imagens utilizadas foram aquelas que apresentaram ausência de nuvens no período de desenvolvimento da cultura após a emergência, obtidas de 16 em 16 dias conforme escala temporal do satélite. A evapotranspiração de referência (ET₀) foi calculada pelo método de Penman-Monteith, usando dados meteorológicos de estações meteorológicas próximas aos locais de cultivo.

Baseando-se nos dados obtidos no campo, para a cultura do milho, e o acompanhamento das diferentes fases fenológicas da cultura, determinou-se o kc correspondente, descrito na Tabela 1. A determinação do kc, foi possível através dos dados de campo, fornecidos pela empresa privada concedente da área de realização do estudo, a mesma possui seu próprio método de determinação do coeficiente, dentro do padrão FAO.

Tabela 1 - Coeficiente de cultivo, para cada fase de desenvolvimento estudada na cultura do milho.

FASE DETERMINADA	DAS (Dias após a semeadura)	KC (Coeficiente de cultivo)
Fase 1 (Inicial)	14	0,6
Fase 2 (Vegetativo)	46	0,94
Fase 3 (Reprodutivo)	62	1,1
Fase 4 (Maturação)	110	0,73

Fonte: Autor, 2019.

Após a obtenção das imagens, estas foram lançadas para software ArcGis® 10.2.2, em que está incorporado a ferramenta do algoritmo SAFER, onde foram obtidos os valores médios dos parâmetros biofísicos que compõem a evapotranspiração atual e o coeficiente de cultura (Kc), para a área total de estudo. Como ferramenta de programação e cálculo foi utilizada a função *raster calculator* disponível no software gerenciador de Sistema de Informações Geográficas (SIG) que permite o cálculo e aplicação da modelagem através de dados *raster* (SALES, 2016).

Como dito, o SAFER estima a relação ET/ET_0 ou Kc atual da cultura através dos dados obtidos nas imagens de satélite. A figura 2 demonstra as etapas seguidas pelo algoritmo até chegar na obtenção da relação ET/ET_0 , para tal, o algoritmo necessita calcular os dados de NDVI, albedo de superfície e temperatura de superfície.

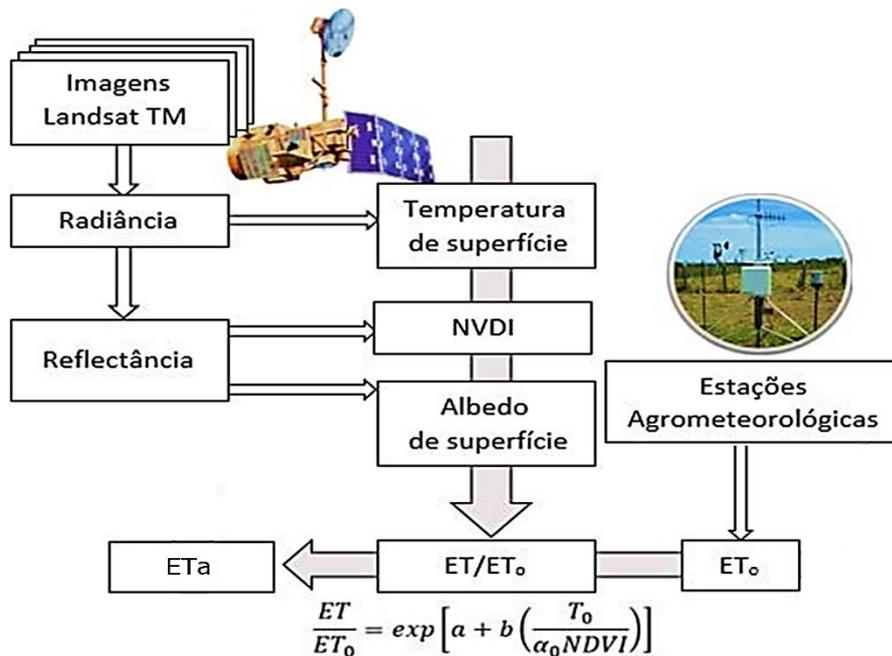


Figura 2 - Fluxograma esquemático para obtenção da Evapotranspiração atual com o algoritmo SAFER.

A estimativa do albedo de superfície (α_s) é calculada em função do albedo no topo da atmosfera (α_0), equação 3.

$$\alpha_s = a \cdot \alpha_0 + b \quad [3]$$

Em que, a e b são coeficientes de regressão, correspondentes aos valores 0,7 e 0,006 (TEIXEIRA, 2010).

A temperatura na superfície (T_0) é estimada pela equação 4, descrita como:

$$T_0 = a * \text{media TKelvin} + bT_0 \quad [4]$$

Em que a e b são coeficientes de correção (Teixeira, 2010), com valores respectivos de 1,11 e -31,89.

O Índice de vegetação por Diferença normalizada (NDVI), é estimado pela equação 5:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad [5]$$

Em que, IVP é a reflectância da banda do infravermelho próximo e V a reflectância da banda do vermelho.

Através dos dados de albedo e temperatura de superfície e NDVI, é calculado os valores instantâneos da relação ET/ET_0 , pela equação 6:

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 * NDVI} \right) \right]$$

O coeficiente “a” corresponde ao valor de 1,0 (HERNANDEZ et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2013) estabelecido para a região noroeste do Estado de São Paulo, constatando ser adaptado para as condições da área determinada desse estudo. O coeficiente “b” foi obtido por Teixeira (2010), valor correspondente a -0,008. A ET_0 é a evapotranspiração de referência, estimada em milímetros por dia (mm/dia) pelo método de Penman-Monteith (equação 7), de acordo com o boletim FAO 56 (ALLEN et al. 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408 \times (Rn - G) + \left[\gamma x \left(\frac{900}{T + 273} \right) x u_2 x (e_s - e_a) \right]}{\Delta + \gamma x (1 + 0,34 x u_2)} \quad [7]$$

Em que:

Rn : Saldo de radiação à superfície da cultura ($MJ m^{-2} dia^{-1}$);

G : densidade do fluxo de calor no solo ($MJ m^{-2} dia^{-1}$);

T : Média diária de temperatura do ar ($^{\circ}C$);

u_2 : velocidade do vento a 2 metros de altura ($m s^{-1}$);

e_s : Pressão de vapor de saturação do ar (kPa);

e_a : pressão de vapor atual do ar (kPa);

$e_s - e_a$: Déficit de pressão de vapor de saturação do ar (kPa);

Δ : Declividade da curva de pressão de vapor do ar na atmosfera ($kPa ^{\circ}C^{-1}$);

e γ : constante psicométrica ($kPa ^{\circ}C^{-1}$).

Para cálculo da estimativa da evapotranspiração pelo método do SAFER (ET_a), os valores obtidos na relação ET/ET_0 foram multiplicados pelos valores de ET_0 diários.

$$ET_a = \frac{ET}{ET_0} \cdot ET_0. \quad [8]$$

A evapotranspiração potencial de cultura, foi calculada pelo método do Boletim FAO 56 (ALLEN et al.1998), acrescentando a multiplicação do Coeficiente de solo (ks), pela equação 9. [9]

$$ETc = ET_0 \cdot Kc \cdot Ks$$

Em que, ETc é a evapotranspiração da cultura, dada em mm/dia; ET_0 é a evapotranspiração de referência dada em mm/dia; Kc é o coeficiente de cultura (adimensional) e ks é o coeficiente de solo- FAO 56 (ALLEN et al.1998).

3.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliação do desempenho do método de estimativa de evapotranspiração pelo SAFER, será feita a correlação entre os valores estimados pelo método FAO e os valores calculados pelo SAFER, de acordo com a metodologia proposta por Allen; Asce (1986), utilizado por Souza (2016), a qual consiste na fundamentação de aplicação do erro padrão de estimativa (EPE) (equação 10). A evapotranspiração estimada também foi avaliada a partir do erro do quadrado médio (EQM) (Equação 11), a raiz do erro quadrático médio (RMSE) (equação 12) e o erro médio absoluto (EMA) (Equação 13).

$$[10] \quad EPE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - E_i)^2}{n - 1}} \quad [11]$$

$$EQM = \sqrt{\sum(O_i - E_i)^2} \quad [12]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - E_i)^2}{n}} \quad [13]$$

Em que; $EMA = \frac{1}{n} \sum |O_i - E_i|$ (ETc calculada por FAO 56 Penman-Monteith), mm;
 O_i = valor observado
 E_i = o valor estimado (ET obtida pelo SAFER), mm;
 O = média dos valores observados, mm.

Também foi considerado a exatidão dos dados, que está relacionada com a aproximação dos dados estimados com os dados calculados, tal exatidão é encontrada matematicamente pelo índice de concordância designado “d” (equação 14), índice de Willmott (WILLMOTT et al., 1985), a avaliação é feita através dos resultados que variam de 0 (nenhuma concordância) para 1 (concordância total). O modelo SAFER também foi avaliado utilizando o índice de confiança ou desempenho “c” (equação 16), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), em que “r” é o coeficiente de correlação simples de Person (equação 15), onde a avaliação se dá segundo os autores, como: “ótimo” (c >0,85); “muito bom” (c entre 0,76 e 0,85); "bom" (c entre 0,66 e 0,75); "mediano" (c entre 0,61 e 0,65), "sofrível" (c entre 0,51 e 0,60), "mau" (c entre 0,41 e 0,50) e "péssimo" (c < 0,40). Esse modelo de avaliação estatística também foi utilizado por Souza (2016).

[14]

$$d = 1 - \left[\frac{\Sigma(E_i - O_i)^2}{\Sigma(|E_i - O| + |O_i - O|)^2} \right]$$

[15]

$$r = \sqrt{1 - \frac{\Sigma(O_i - E_i)^2}{\Sigma(O_i - \bar{O})^2}}$$

[16]

$$c = d \times r$$

Em que;

O_i = valor observado (ETc calculada por FAO 56 Penman-Monteith), mm;

E_i = o valor estimado (ET obtida pelo SAFER), mm;

O = média dos valores observados, mm;

d = Willmott;

r = coeficiente de correlação simples de Person.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os valores da evapotranspiração atual (ETa) utilizando o método SAFER, e para evapotranspiração de cultura (ETc), estimados pelo método padrão FAO 56, em 5 datas (referentes as datas de passagem do satélite) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

Tabela 2 - Evapotranspiração da cultura do Milho, na área estudada., expressa em valores médios.

FASE DETERMINADA	DAS	Eta-SAFER (mm/dia)	Etc - FAO (mm/dia)
Fase 1 (inicial)	14	2,31	2,35
Fase 2 (Vegetativo)	46	3,03	2,37
Fase 3 (Reprodutivo)	62	2,64	2,51
Fase 3 (Reprodutivo)	94	2,16	2,22
Fase 4 (Maturação)	126	1,49	1,89

Fonte: Autor, 2019.

O comparativo entre a ETa estimada pelo modelo SAFER e a ETc calculada pelo método FAO, também está representada na Figura 3.

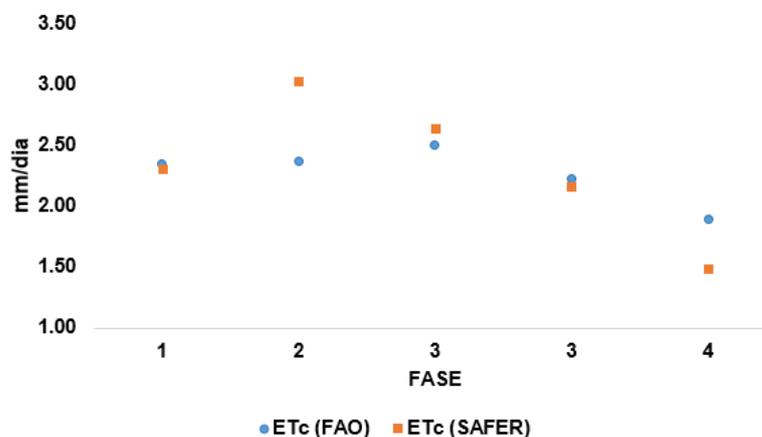


Figura 3 - Comparativo entre ETa SAFER e ETc FAO, durante as fases de desenvolvimento da cultura do milho.

Fonte: Autor, 2019.

Observou-se que, assim como no trabalho realizado por Sales (2016), na cultura do tomateiro, e por Souza (2016) nas culturas do tomateiro, cana-de-açúcar, trigo e feijão, o modelo SAFER também subestimou o método padrão FAO no início do desenvolvimento da cultura do milho, mesmo que para a cultura do estudo a diferença tenha sido de apenas 0,04

mm. Esse fato pode ser explicado, devido no período específico da sementeira ou do plantio e durante o estágio seguinte de início vegetativo, a frequência de umedecimento da superfície do solo seja por chuva ou irrigação é um fator que influencia bastante o Kc na fase inicial (SOUZA, 2016).

Aos 46 e 62 dias após a sementeira (fase 2 e 3), observou-se que o modelo SAFER superou a ETc FAO em 0,66 e 0,13 mm, respectivamente. Esse resultado pode estar relacionado com o fato da cultura do milho estar iniciando o chamado período crítico de necessidade hídrica. Nesse período, o vegetal está em sua máxima capacidade vegetativa, resultando em grande massa verde e cobertura total do solo, o que favorece positivamente os resultados do NDVI.

Nota-se que os valores de evapotranspiração estimados pelo modelo SAFER caminharam em similaridade com os valores calculados no método padrão FAO, em todas as fases do desenvolvimento da cultura, o modelo também subestimou o método FAO no final do ciclo, segundo Justina et al., (2013) citado por Souza (2016), o fato da cultura estar iniciando a fase final de desenvolvimento e dessa forma entrando em estado de senescência, faz com que a planta perca vigor vegetativo, resultando em valores de NDVI gradativamente mais baixos. O NDVI mais baixo, tem peso influente na estimativa da ETa pelo SAFER.

A Tabela 3 apresenta a estimativa do kc atual (Relação et/et0) obtido através do algoritmo SAFER, para a cultura do milho, na área de estudo.

Tabela 3 - Coeficiente de cultivo (Kc), pelo método SAFER, expresso em valores médios.

FASE DETERMINADA	DAS	KC-SAFER
Fase 1 (Inicial)	14	0,59
Fase 2 (Vegetativo)	46	1,14
Fase 3 (Reprodutivo)	62	1,07
Fase 3 (Reprodutivo)	94	1,07
Fase 4 (Maturação)	126	0,55

Fonte: Autor, 2019.

O comparativo entre os valores de Kc estimados pelo modelo SAFER e calculados pelo método FAO 56, também está representado na Figura 4.

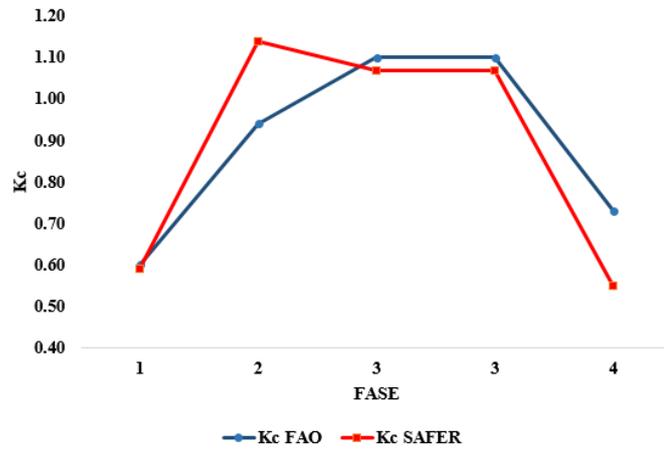
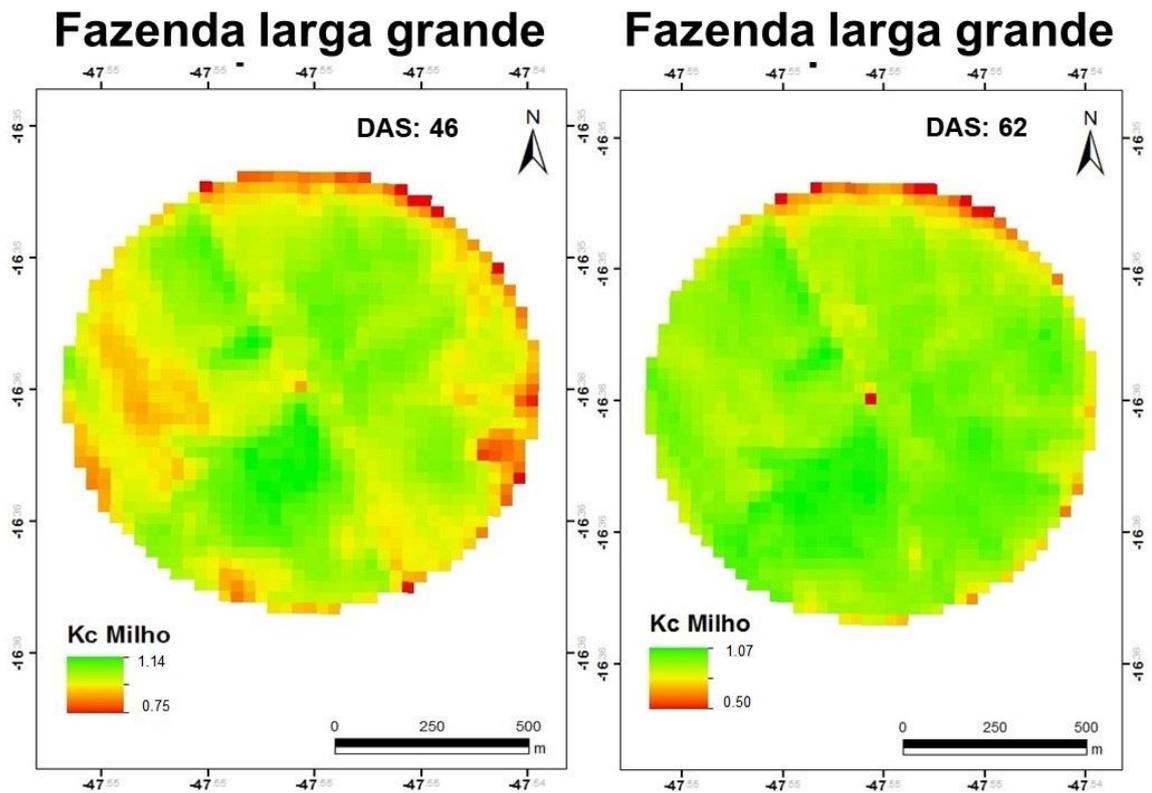


Figura 4 - Expressão gráfica do comparativo entre os valores de kc estimados pelo modelo SAFER e método FAO.
 Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 5 está representada a imagem gráfica dos respectivos Kc's estimados pelo método SAFER nas determinadas fases de desenvolvimento da cultura.



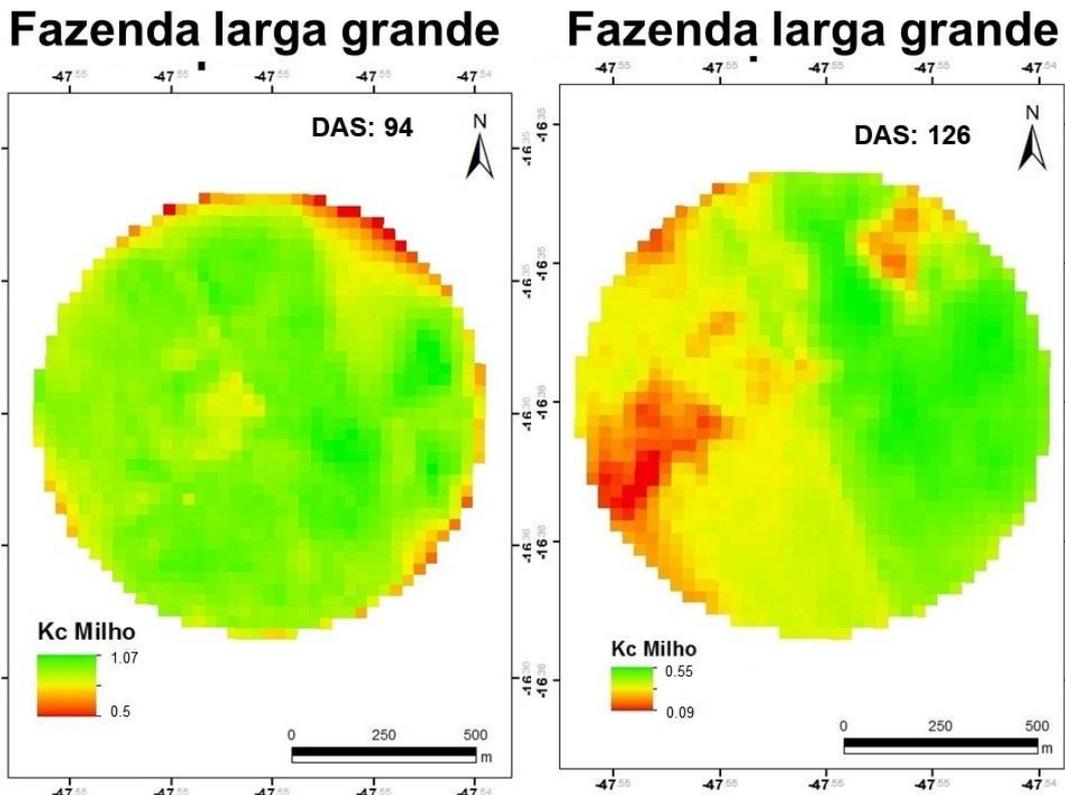


Figura 5 - Mapas dos valores de Kc, obtidos pelo método SAFER referente ao período de estudo.

Fonte: Autor, 2019.

É possível observar que os dados de Kc estimados pelo modelo SAFER estão em similaridade com os dados calculados pelo método padrão FAO, para a cultura do milho cultivada sob sistema de irrigação e com evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteih. Os valores de Kc pelo método do SAFER, dos estágios iniciais de desenvolvimento (fase um e dois), tem variabilidade diária e mostram que o coeficiente tem comportamento crescente, enquanto que os valores após o início da maturação fisiológica, mostram um comportamento decrescente. Esse resultado mostra a boa concordância entre o SAFER e o método padrão FAO, para cultura do milho nas condições de cultivo citadas.

Os parâmetros e resultados estatísticos, erro médio absoluto (EMA), erro do quadrado médio (EQM), erro padrão da estimativa (EPE), raiz do erro do quadrado médio (RMSE) índice de concordância “d”, coeficiente de concordância simples de Person “r”, índice de confiança ou desempenho “c” estão descritos na tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos para os valores de ETa SAFER comparado a ETc FAO.

EMA	EQM	EPE	RMSE	d	r	c	Classificação
mm/dia	mm/dia	mm/dia	mm/dia				
0,065	0,322	0,360	0,567	0,831	0,912	0,76	“Muito bom”

Fonte: Autor,2019.

De maneira geral, os resultados da ETa SAFER estiveram em boa concordância com a metodologia de estimativa padrão da ETc (FAO 56), com valores de EMA= 0,06 mm/dia e EPE= 0,36 mm/dia, valores muito baixos que, na prática, indicam uma diferença de lâmina de menos de meio milímetro. O EQM também foi bastante baixo, com valor médio de 0,32 mm/dia. Já o RMSE ficou um pouco mais elevado que os demais, com valor médio de 0,56 mm/dia. Segundo Souza (2016), tais valores dos erros na estimativa ETc pelo SAFER é satisfatoriamente aceitável para gestão de recursos hídricos, especialmente considerando o baixo custo da aplicação do método em larga escala.

A correlação de Person “r” apresentou valor de 0,912, considerado uma correlação muito forte, já que o índice perfeito é 1. O índice “d” de Willmott, foi igual a 0,83, o qual indica um bom resultado de exatidão do modelo SAFER. Os resultados do modelo SAFER foram confiáveis através da aplicação do índice “c”, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), cujo resultado foi de 0,75, “muito bom”. Em todos os índices a referência estatística para concordância total é 1. De acordo com os obtidos, o método de estimativa pelo SAFER se mostrou consistente na avaliação do consumo de água da cultura e na observação da variabilidade espacial do consumo de água em talhões ou áreas que deveriam ser agronomicamente homogêneas, mostrando ser um modelo recomendado para a estimativa da evapotranspiração atual da cultura do milho nas condições citadas.

Um dos fatores limitantes para a utilização de modelos de estimativa da ET através do sensoriamento remoto, é a dependência das imagens de satélite, já que essas apenas podem ser utilizadas quando estão limpas, livres da presença de nuvens. A escala temporal das imagens também é um fator limitante, o Landsat 8 por exemplo, que foi utilizado para esse trabalho, fornece imagens a cada 16 dias (SOUZA, 2016). Uma alternativa futura para resolução desses fatores limitante, é a introdução do imageamento via Vant’s (Veículo aéreo não tripulado) acoplado com câmera multiespectral capaz de fornecer as imagens necessárias para os modelos de estimativa.

5.CONCLUSÃO

O sensoriamento remoto e a utilização do modelo SAFER, pode ser aplicado para estimativa da evapotranspiração atual da cultura do milho, de maneira combinada com o método FAO ($E_{tc}=K_c*E_{t0}*K_s$) na região do Cerrado goiano.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. Manejo de irrigação na cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo. **Sistema de Produção**, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica- 6ª edição Set./2010.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-fao irrigation and drainage paper 56. Roma: **FAO**, v. 1, 300, 1998.

ALVES JÚNIOR, J.; FOLEGATTI, M. V.; PARSONS, L. R.; BANDARANYAKE, W.; SILVA, C.R.; SILVA, T.J.A.; CAMPECHE, L. F. S.M. Determination of the crop coefficient for grafted Tahiti lime trees and soil evaporation coefficient of Rhodic Kandudalf Clay soil in São Paulo, **Brazil. Irrigation Science**, Berlim, v. 25, n. 4, p. 419- 428, 2007.

ANDRADE JÚNIOR, A.; SILVA, C.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.2 n.4, p.303-307, 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação 7ª ed. Viçosa: **Imprensa Universitária**, p.596-611, 2005.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais LANDSAT 5-TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v .23, n. 3, p. 305-317, 2008.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, L. G. de; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul. 2011.

COMPAORÉ, H.; HENDRICKX, J.M.; HONG, S.; FRIESEN,J.; GIESEN, N.C. van de; RODRIGUES, C.; SZARZYNSKI, J.;VLEK, P.L.G. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana. **Physics and Chemistry of the Earth**, Oxford, v.33, n. 2, p.127-140, 2008.

FRANCO, R. A. M., HERNANDEZ, F. B. T., TEIXEIRA, A. H. C. Aplicação do algoritmo SAFER na determinação da evapotranspiração em condições de sazonalidade climática no noroeste paulista. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.

GIACOMONI, M. H.; MENDES, C. A. B. Estimativa da Evapotranspiração Regional por meio de Técnicas de Sensoriamento Remoto Integradas a Modelo de Balanço de Energia. RBRH — **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 33-42, 2008.

HERNANDEZ, F. B. T.; NEALE, C. M. U.; TEIXEIRA, A. H. de C.; TAGHVAEIAN, S. Determining large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the northwest of São Paulo state, Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 1038, p. 263–270, jun. 2014.

HERNANDEZ, F.B.T.; TEIXEIRA, A.H.C; NEALE, C.M.U.; TAGHVAEIAN, S. Determining actual evapotranspiration on the large scale using agrometeorological and remote sensing data in the Northwest of the São Paulo State, Brazil. In: **International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops**, 7º, Geisenheim - Alemanha, Proceedings, p.51, 2012.

HENG, L. K.; CAYCI, G.; KUTUK, C.; ARRILLAGA, J. L.; MOUTONNET, P. Comparison of soil moisture sensors between neutron probe, Diviner 2000 and TDR under tomato crops. In: **Symposium of towards integrated soil, water and nutrient management in cropping systems: the role of nuclear techniques**, 59., Bangkok, 2002. Proceedings. Bangkok: Soil Science, 2002.

JUSTINA, D. D. D.; LIMA, P. H. P.; SOUSA, C. H. W.; OLDONI, L. V.; JOHANN, J. A.; MERCANTE, E. Geração de perfis espectro-temporais de NDVI para diferentes cultivares de soja. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, 2013, **Anais...** p. 8838-8844, 2013. CD-ROM

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 763p. 2004.

LIMA, F. B.; SANTOS, G. O. **Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo**. 2009. 89 f. Monografia. Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis - SP, 2009.

LIMA, E. P. **Estimativa da evapotranspiração e do balanço hídrico a partir de imagens de satélite de duas sub-bacias do Paracatu**. 2010. 110 f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa UFV, Viçosa, 2010.

OLIVEIRA, A. S.; PAZ, V. P.; D'ANGIOLELLA, G. L. B.; PEREIRA, F. A. Programação da irrigação pelo método do balanço de água no solo. II aplicação culturas anuais. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, n. 1.p. 73-80, 2005.

OLIVEIRA, P. M. **Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2003.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA. G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ. 183p. 1997.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Barueri (SP): Manole, 1990.

SALES, D. L. A. **Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial estimado por sensoriamento utilizando o algoritmo SAFER**. Dissertação de mestrado, escola de agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2016.

SANTANA, M. J.; PEREIRA, U. C.; BEIRIGO J. D. C.; SOUZA, S. S.; CAMPOS, T. M. VIEIRA, T. A. Coeficiente de cultura para o Tomateiro Irrigado. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 11-20, janeiro-março, 2011.

SILVA, R. A. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO. A. C. D.; GONDIM, P. S. S., SOUZA, E. S.; BARROS JUNIOR. G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com Braquiária (*Brachiaria decumbens Stapf*). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 38, p. 147-157, 2014.

SOUZA, C. F. & MATSURA, E. E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.63-68, 2002.

SOUZA, J. M. F., **Aplicação do modelo SAFER (simple algorithm for evapotranspiration retrieving) na obtenção da evapotranspiração das culturas em condições de Cerrado**– Tese de doutorado, escola de agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2016.

TEIXEIRA, A. H. C.; LOPES, A. H. L.; HERNADEZ, F. B. T. Quantificação de parâmetros da produtividade da água com imagens landsat em condições de mudança de uso da terra no distrito de irrigação Nilo Coelho. Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto. **Anais São José dos Campos**, 2013.

TEIXEIRA, A. H. de C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L. H. Modelagem espaçotemporal dos componentes dos balanços de energia e de água no semiárido brasileiro. 1ra. ed. **Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**, v. 1, 32p. 2013b.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 462–476, 2009.

TEIXEIRA, A. H. de C.; PADOVANI, C. R.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. de C.; GALDINO, S. Use of MODIS images to quantify the radiation and energy balances in the Brazilian Pantanal. **Remote Sensing**, Basel, v. 7, n. 11, p. 14597–14619, 2015.

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. The water balance. Publications in Climatology, New Jersey, **Drexel Inst. of Technology**, 104p. 1955.