

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Heloísa de Gois

**COEFICIENTE DE CULTURA PARA NOGUEIRA-PECÃ NA REGIÃO DE
CACHOEIRA DO SUL, RS**

Cachoeira do Sul, RS
2022

Heloísa de Gois

**COEFICIENTE DE CULTURA PARA NOGUEIRA-PECÃ NA REGIÃO DE
CACHOEIRA DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Ezequiel Saretta

Cachoeira do Sul, RS
2022

Heloísa de Gois

**COEFICIENTE DE CULTURA PARA NOGUEIRA-PECÃ NA REGIÃO DE
CACHOEIRA DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 11 de fevereiro de 2022.

Ezequiel Saretta, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)
(por videoconferência)

Leonardo Laipelt, Engenheiro Ambiental (UFRGS)
(por videoconferência)

Zanandra Boff de Oliveira, Dra. (UFSM)
(por videoconferência)

Cachoeira do Sul, RS
2022

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida que me guardaram durante essa trajetória e iluminaram minhas decisões.

Aos meus pais, Estela Maris de Gois e Daniel Paulo de Gois, os quais me permitiram viver a experiência da faculdade em uma cidade distante e propiciaram a mim todas as condições necessárias para isso, estando sempre me apoiando. Essa conquista é de vocês.

Ao meu irmão, Daniel Paulo de Gois Filho, por todo apoio e incentivo.

A minha avó, Cenira Neckel de Gois (*in memoriam*), que é minha inspiração de força.

Ao meu namorado, pelo carinho e confiança.

Aos meus colegas de curso, em especial a minha amiga Dulce, que esteve comigo nos momentos bons e ruins, e ao meu colega Adriano por todas as trocas de conhecimentos.

A todos os professores, especialmente os que tive a oportunidade de trabalhar, professores Paulo Ademar Avelar Ferreira, Deise Maria Cirolini Milbrad, Zanandra Boff de Oliveira, Leander Luiz Klein e, meu orientador, Ezequiel Saretta, que acreditaram na minha capacidade e me oportunizaram experiências de conhecimento.

Ao Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), a Divinut Indústria de Nozes, a GRANOL e a Cooperativa Sul Matogrossense COPASUL, pela oportunidade de estágio e aprendizagem durante a minha graduação.

As professoras Tassia Fanton e Viviane Dal-Souto Frescura, pelos conselhos.

A Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de ensino público de qualidade.

Ao senhor Edson Ortiz pelo fornecimento dos dados necessários para a aplicação desse estudo.

Ao Engenheiro Ambiental Leonardo Laipelt, pela disponibilidade de compartilhar conhecimentos sobre o geeSEBAL.

Ao colega do grupo de pesquisa, Rovany, pelo auxílio no processamento das imagens necessárias a realização deste trabalho.

RESUMO

COEFICIENTE DE CULTURA PARA NOGUEIRA-PECÃ NA REGIÃO DE CACHOEIRA DO SUL, RS

AUTORA: Heloísa de Gois
ORIENTADOR: Ezequiel Saretta

A produção de nozes-pecã vem obtendo destaque no Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul. Entretanto, secas e veranicos na região central do estado têm colocado em risco a produção da fruta. A irrigação torna-se imprescindível, sendo necessário, para sua correta gestão, o conhecimento da evapotranspiração da cultura (ETc), obtida a partir da evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente de cultura (Kc). O Kc é considerado de aferição complexa e, para a noqueira-pecã, ainda não há estudos no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar os valores de Kc da noqueira-pecã na região de Cachoeira do Sul - RS obtidos com sensoriamento remoto utilizando o aplicativo geeSEBAL. Para isso, utilizou-se um pomar de noqueiras-pecãs adultas, localizado em Cachoeira do Sul – RS para onde, no geeSEBAL, se obteve a distribuição espacial da ETc, para os anos 1992 a 1999 nos meses de setembro a maio. Os valores de ETc representativos dos dias das imagens analisadas foram obtidos no software QGIS. Para se calcular os valores de Kc, a ETo foi calculada utilizando o método padrão Penman-Monteith para os mesmos dias. Os valores de Kc obtidos foram comparados com os valores propostos por Allen et al. (1998) por meio do RMSE (raiz do erro médio ao quadrado). O maior valor de RMSE (1,03) foi obtido para o período intermediário (dezembro a fevereiro), demonstrando maior distanciamento entre os valores de Kc comparados. Apesar da curva de Kc apresentar valores baixos em todo o ciclo (com médias de 0,56, 0,90 e 0,77), o período de desenvolvimento configurou-se como o de maior demanda hídrica, com Kc médio de 1,14, contrastando com outros trabalhos presentes na literatura. O clima úmido e a adequada suplementação hídrica podem explicar o comportamento da curva que, ainda sim, manteve-se dentro do que havia sido reportado em outras regiões do mundo. O geeSEBAL demonstrou ser uma ferramenta útil para a obtenção dos valores de Kc capazes de representar as condições de cultivo da noqueira-pecã na região de Cachoeira do Sul-RS e assim auxiliar no manejo da irrigação.

Palavras-chave: Irrigação. Evapotranspiração. SEBAL.

ABSTRACT

CROP COEFFICIENT OF PECAN TREES IN THE REGION OF CACHOEIRA DO SUL, RS

AUTHOR: Heloísa de Gois
ADVISOR: Ezequiel Saretta

The production of pecans has gained prominence in Brazil, especially in the state of Rio Grande do Sul. However, droughts in the central region of the state have put the production at risk. Irrigation becomes essential, and for its correct management, the knowledge of crop evapotranspiration (ET_c), which is obtained from the reference evapotranspiration (ET_o) and the crop coefficient (K_c). K_c is considered a complex measurement and for pecan crop, there is no study in Brazil. The objective of this work was to evaluate the pecan's K_c in the region of Cachoeira do Sul - RS obtained with remote sensing using the geeSEBAL application. An adult pecan orchard, the spatial distribution of ET_c was obtained in geeSEBAL from 1992 to 1999, from September to May. The representative ET_c values of the days of the images were later processed in the QGIS software. K_c was calculated from ET_o what was calculated using the standard Penman-Monteith method for the same days. The comparison values of K_c were obtained with the values proposed by Allen et al. (1998) using the RMSE (root mean squared error). The highest RMSE value (1.03) was obtained for the intermediate period (september to december), what demonstrates greater distance from the K_c values compared. Despite the K_c curvature presenting low values throughout the cycle (with means of 0.56, 0.90 and 0.77), the period of development was configured as the one with the highest water demand, with an average K_c of 1.14, in contrast to other works in the literature. The humid climate and adequate water supplementation may explain the curvature behavior, which, even so, remained within what had been reported in others regions of the world. The geeSEBAL shows to be a useful tool to estimate the crop values of adult pecan nut in the Cachoeira do Sul – RS region, thereat, it could auxiliare in the irrigation management.

Keywords: Irrigation. Evapotranspiration. SEBAL.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	9
2.1	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ET _c).....	9
2.2	COEFICIENTE DE CULTURA (K _c) DA NOGUEIRA-PECÃ OBTIDOS EM OUTROS ESTUDOS.....	10
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO PARA OBTENÇÃO DE ET _c E K _c	13
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5	CONCLUSÕES	25
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Os pomares de noqueira-pecã [*Carya illinoensis* (Wagenh.) K. Koch] apresentam perspectiva de crescimento em todo território mundial. Atualmente, as maiores produções encontram-se nos Estados Unidos da América e no México, sendo o Brasil reconhecido em 2020 como quinto maior produtor, com mais de 1.000 toneladas (INC, 2020). O estado do Rio Grande do Sul (RS) é responsável pela maior parte dessa produção, com 5,50 mil hectares e 90% das indústrias de beneficiamento (DPADR, 2020). O município gaúcho de Cachoeira do Sul, na região central do estado, foi pioneiro no cultivo da noz-pecã de forma comercial, recebendo o primeiro pomar na década de 1960 (MARTINS et al., 2018), e hoje é considerado polo de produção (DPADR, 2020).

As condições climáticas de cada região, como temperatura, luminosidade, precipitação e vento, condicionam a duração dos estágios fenológicos da noqueira-pecã e por isso são responsáveis pelo sucesso ou insucesso da produção de nozes (LANGE JR, 2020). Os períodos de maturação das flores femininas e enchimento dos frutos merecem atenção especial, sendo considerados os períodos críticos para a cultura da noqueira-pecã (FRONZA et al., 2018).

Estresse hídrico no período de enchimento da amêndoa, entre os meses de janeiro e março, no hemisfério sul, pode ocasionar aborto dos frutos (FRONZA et al., 2018; ROVANI, 2016; MARTINS et al., 2018; DE MARCO et al., 2021). Mesmo após a colheita, plantas sob déficit podem não conseguir acumular níveis adequados de carboidratos, afetando diretamente a produção na safra subsequente (MADERO, 2017; ANDALES et al., 2006).

A necessidade hídrica da noqueira-pecã pode ultrapassar 1.000 mm de água para completar seu ciclo (SAMANI et al., 2009; ADUBU et al., 2016). Dependendo da região de cultivo poderá haver estresse hídrico devido a períodos de estiagem. No Rio Grande do Sul, a safra 2019/2020 apresentou estiagem entre os meses de dezembro a fevereiro, época reprodutiva da cultura, com relatos de desfolha e queda de frutos imaturos pela maior parte dos pecanicultores (SAPDR, 2020).

Dessa forma, a irrigação da cultura deve ser priorizada para garantir a produção frente às condições climáticas adversas (DIAS, 2004). Em âmbito econômico e ambiental, a irrigação deve ser acompanhada de um correto manejo baseado no conhecimento da ETc (evapotranspiração da cultura) (MAROUELLI et al., 2011; DIAS, 2004).

A quantificação direta da ETc da noqueira-pecã por meio de lisímetros é inviável, pois trata de uma árvore de grande porte, além disso, sua aplicação é local (PEREIRA, VILLA NOVA e SEDIYAMA, 1997; COSTA, 2019). Uma alternativa reconhecidamente precisa é a

utilização de torres de fluxo, com o método de covariância dos vórtices turbulentos (“eddy covariance”), entretanto, ainda é um método oneroso e também não possibilita estimativas regionais (DINIZ, 2021; IBRAIMO et al., 2016; SAMMIS, MEXAL e MILLER, 2004; SAMANI et al., 2011; SAMANI et al., 2009). Outra opção que está se tornando frequente entre pesquisadores e proporcionando a obtenção de resultados confiáveis, é o emprego de sensoriamento remoto com modelos semiempíricos (LAIPELT et al., 2021, SAMANI et al., 2011).

O SEBAL (“Surface Energy Balance Algorithm for Land”) é um dos modelos semiempíricos, constituindo-se de um algoritmo com equações ajustadas que levam em consideração aspectos radiativos, atmosféricos e vegetais para a obtenção do balanço de energia da superfície (ALLEN et al., 2011; DINIZ, 2021; SAMANI et al., 2011; SENA, 2021). Sendo considerado capaz de ser aplicado na gestão de recursos hídricos (ALLEN et al., 2011; COSTA, 2019), o acesso ao SEBAL foi facilitado através da plataforma gratuita, Google Earth Engine (GEE), no aplicativo geeSEBAL (LAIPELT et al., 2021).

A quantificação da ET_c indiretamente é dada por meio da abordagem do coeficiente de cultura (K_c), caracterizando-se como a multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo K_c , parâmetro que integra as características intrínsecas ao cultivo (ALLEN et al., 1998).

Verificando o estado da arte, estudos de diversas naturezas vêm sendo empregados na busca por uma estimativa coerente de ET_c e K_c em diferentes regiões do mundo. Os valores de K_c tidos como referência global estão presentes no Boletim FAO 56 (ALLEN et al, 1998). Contudo, quando esses valores foram comparados a K_c 's derivados de medições diretas de evapotranspiração, muitos autores os colocaram sob questionamento (KAMBLE, KILIC E HUBBARD, 2013; GONTIA e TIWARI, 2010; IBRAIMO et al., 2016; SAMMIS, MEXAL e MILLER, 2004; WANG et al., 2007; SAMANI et al., 2011).

Tendo em vista que no Brasil ainda não se encontraram estudos dessa natureza para noqueira-pecã, surge a necessidade da avaliação de métodos existentes, já validados no país, que possibilitem a obtenção da ET_c e o alcance de valores de K_c representativos da cultura, com foco na correta irrigação.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar os valores de K_c para árvores adultas de noqueira-pecã localizadas na região de Cachoeira do Sul – RS, obtidos a partir da ET_c lograda por meio de sensoriamento remoto no aplicativo geeSEBAL.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ET_c)

A ET_c diz respeito aos processos simultâneos de evaporação e transpiração que ocorrem na superfície vegetada. O processo evapotranspirativo depende de inúmeros fatores: a) clima/meteorológicos, em especial a temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e vento; b) propriedades hidráulicas do substrato; e c) propriedades intrínsecas da planta, como estágio fenológico, área foliar, albedo, profundidade do sistema radicular e altura da planta (PEREIRA, VILLA NOVA e SEDIYAMA, 1997; BERGAMASCHI et al., 1992). Para a noqueira-pecã, a ET_c também é influenciada pelo arranjo do dossel, idade da árvore, práticas de poda, cobertura do solo e manejo da irrigação (SAMANI et al., 2009; WANG et al., 2007). Assim, é evidente que a ET_c varia entre os locais de cultivo.

Devido à dificuldade de aplicação dos métodos diretos (lisímetros e torres de fluxo) em culturas de grande porte, a ET_c, nesses casos, pode ser obtida através de métodos empíricos. O método padrão amplamente utilizado é a abordagem do coeficiente de cultura, que consiste na aplicação da Equação 1 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_c = ETo Kc \quad (1)$$

Em que,

ET_c: evapotranspiração da cultura no período (mm);

ETo: evapotranspiração de referência no período (mm);

Kc: coeficiente da cultura (adimensional).

A ETo corresponde a uma situação onde a demanda atmosférica nunca é restringida pela falta de água no solo (ANGELOCCI, PEREIRA e SENTELHAS, 2007). Mundialmente, o método recomendado para cálculo da ETo é o Penman-Montheith (ALLEN et al., 1998), consolidado em boletins da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO). O mesmo envolve variáveis clima meteorológicas de radiação líquida na superfície, fluxo de calor no solo, velocidade do vento e parâmetros psicométricos do ar (ALLEN et al., 1998; STANHILL, 2002). É possível dizer que a ETo não varia com a cultura, mas sim com as condições ambientais de cada região, sendo os parâmetros inerentes à cultura integrados no Kc.

2.2 COEFICIENTE DE CULTURA (K_c) DA NOGUEIRA-PECÃ OBTIDOS EM OUTROS ESTUDOS

O K_c é considerado um parâmetro complexo que engloba todas as características intrínsecas à planta, que por sua vez variam durante o ciclo fenológico (DIAS, 2004). Nesse sentido, Allen et al. (2011) afirmam que ter o conhecimento acerca da condição fenológica de todas as árvores, principalmente em cultivos extensivos, é um desafio.

Tratando-se de árvores adultas, valores referência de K_c foram disponibilizados no boletim 24 da FAO (DOOREEMBOS e PRUITT, 1977) para plantas adultas, plenamente desenvolvidas e cobrindo 70 a 80% da área disponível (Tabela 1). Esses valores foram revisados e publicados no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), com uma equação para a transferência dos valores para outras localidades (Equação 2).

$$K_c = K_{c_{tab}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{min} - 45)](h/3)^{0,30} \quad (2)$$

Em que,

K_c : K_c ajustado para o pomar de interesse (adimensional);

$K_{c_{tab}}$: K_c da Tabela 1 (B) (adimensional);

u_2 : valor médio para a velocidade diária do vento a 2 m de altura sobre a grama durante o estágio de crescimento no meio da temporada ($m s^{-1}$), para $1 m s^{-1} \leq u_2 \leq 6 m s^{-1}$;

RH_{min} : valor mínimo de umidade relativa diária durante o estágio de crescimento no meio da temporada (%), para $20\% \leq RH_{min} \leq 80\%$;

h : altura média da planta durante o estágio de meio da estação (m), para $0,1 m \leq h \leq 10 m$.

Allen et al. (1998) trazem que o K_c inicial e final para árvores decíduas reflete a condição do solo. Esse valor tem como fatores preponderantes a quantidade de cobertura de grama ou erva daninha, a frequência de molhamento do solo e a densidade de cobertura morta. A densidade das árvores no pomar irá ter sua influência nas fases de desenvolvimento e intermediária, isso porque, à medida que o dossel da cultura se desenvolve, a proporção da transpiração para a evapotranspiração aumenta, até que a maior parte da evapotranspiração vem da transpiração, e a evaporação do solo é um componente secundário (KAMBLE, KILIC e HUBBARD, 2013).

Estudos recentes têm buscado aprimorar os valores de K_c da noqueira-pecã apontados por Allen et al. (1998) a partir de técnicas modernas em diferentes locais (KAMBLE, KILIC e HUBBARD, 2013; GONTIA e TIWARI, 2010; IBRAIMO et al., 2016; SAMMIS, MEXAL e

MILLER, 2004; WANG et al., 2007; SAMANI et al., 2011). Inclusive, alguns têm fornecido outros modelos para aferição desse parâmetro *in situ*. Na Tabela 1, é possível observar que Ibraimo et al. (2016), propuseram seis estágios de Kc durante o ciclo da cultura, contrastando com os demais trabalhos executados na América do Norte.

Tabela 1 - Duração dos estágios de desenvolvimento e valores de Kc para a noqueira-pecã obtidos na bibliografia e adaptados para o hemisfério sul.

Referência	Estágio					
	Inicial ¹	Desenvolvimento ²		Intermediário ³	Final ⁴	
Kc						
A	0,80	Interpolar		1,00	0,80	
B	0,80	Interpolar		1,15	0,85 ⁵	
C	0,46	Interpolar		1,11	0,27	
D	0,59	1,02		1,39	0,84	
E	0,60	Interpolar	1,00	Interpolar	1,24	0,59
Duração						
A	set.	set.- dez.		dez. - fev.	mar. - mai.	
B	20 dias	70 dias		120 dias	60 dias	
C	jul. - ago.	set. - dez.		jan. - abr.	mai.	
D	out.	dez.		fev.	abr.	
E	20 dias	20 dias	130 dias	25 dias	50 dias	20 dias

A: FA0-24 – Doorembos e Pruitt (1977), para árvores adultas, em espaçamento que permite cobertura de aproximadamente 70% do solo, clima úmido (umidade relativa do ar >70%), vento fraco a moderado (<8 m/s), solo com cobertura perene e locais com invernos com possibilidade de geada.

B: FA0-56 – Allen et al. (1998), para plantas bem manejadas, sem estresse em climas subúmidos (umidade relativa do ar >45% e velocidade do vento média de 2 m/s).

C: Sammis, Mexal e Miller (2004), com valores de Kc estimados para cobertura de dossel entre 65 a 70% em pomares do Novo México (Estados Unidos da América), com clima semiárido.

D: Samani et al. (2011), para um pomar com fração de cobertura do solo igual a 80%, bem administrado, com safras totalmente irrigadas localizado na região do Novo México (Estados Unidos da América) com clima semiárido.

E: Ibraimo et al. (2016), que propuseram seis estágios de Kc a partir de torre de medição de fluxo, com clima subtropical semiárido em Cullinan (África do Sul), em um pomar bem manejado de árvores adultas e irrigado.

¹ Do início da brotação até aproximadamente 10% de cobertura do solo.

² Do período inicial até 70-80% de cobertura do solo.

³ Do período de desenvolvimento até a completa formação dos frutos.

⁴ Do período intermediário até a colheita.

⁵ Valores representam Kc antes da queda das folhas. Após queda das folhas, Kc entre 0,5-0,8 para cobertura do solo em atividade.

No Novo México, Sammis, Mexal e Miller (2004) aperfeiçoaram a premissa de transferência de dados entre locais indicada por Allen et al. (1998), fornecendo um modelo polinomial para cálculo do Kc para árvores com cobertura de copa entre 65 a 70%, a partir da temperatura acumulada no ciclo (graus-dia) (Equação 3), que pode ser retroalimentado anualmente. Essa metodologia se justifica pela relação com a quantidade de área transpirante de uma noqueira-pecã adulta baseada em seu tempo de emergência (ANDALES et al., 2006).

$$Kc = -3,866 \times 10^{-12}GDD^4 + 1,11 \times 10^{-8}GDD^3 - 1,08 \times 10^{-5}GDD^2 + 4,31 \times 10^{-3}GDD + 0,334 \quad (3)$$

Em que,

Kc: coeficiente de cultura (adimensional);

GDD: temperatura diária acumulada desde o início da brotação (°C).

Entretanto, Ibraimo et al. (2016), sugeriram que a transferibilidade do modelo polinomial (Equação 3) pode apresentar fatores limitantes à aplicação em culturas perenes, relacionados aos graus dias acumulados durante o ciclo de cultivo em climas quentes e a ineficiência do modelo em prever o final da dormência. Em contrapartida, Wang et al. (2007) obtiveram 89% de representatividade dos dados medidos nos dados simulados quando testaram a referida metodologia em um modelo computacional de estimativa de crescimento da noqueira-pecã.

No que tange a idade da cultura e cobertura do solo pelo dossel, Doorembos e Pruitt (1977) sugeriram reduzir de 10 a 15% os valores de *Kc* da Tabela 1 para o estágio intermediário para plantas que ocupam cerca de 20% do solo; e 5 a 10% quando ocuparem 50%. No mesmo raciocínio, com aprimoramentos, Allen et al. (1998) comentaram da necessidade de redução em torno de 20% no *Kc* intermediário informado na Tabela 1 para plantas ocupando cerca de 50% do espaço. Adicionalmente, sugerem a utilização de uma equação para *Kc* ajustado que leva em consideração a fração de cobertura (*fc*) (Equação 4).

$$Kc = Kc_{tab} - \left[1 - \left(\frac{fc}{fcdenso} \right)^{0,5} \right] \quad (4)$$

Em que,

Kc: *Kc* para o estágio intermediário para pomares com cobertura reduzida (adimensional);

Kc_{tab}: *Kc* na Tabela 1 (B) (adimensional);

fc: fração de cobertura atual do pomar (adimensional);

fcdenso: fração de cobertura do pomar para condições normais (*fcdenso* ≅ 80%).

Por sua vez, Samani et al. (2011) também propuseram uma equação para a estimativa do *Kc* utilizando a fração de cobertura da copa. Os autores utilizaram dados climáticos, imagens de satélite e imageamento por drone, em um pomar adulto com *fc* de 80%, resultando na Equação 5. A mesma também permite a estimativa de *Kc* para situações de diferentes espaçamentos, e produz resultados semelhantes à Equação 4 e, portanto, ambas podem ser consideradas avançadas em relação às indicações de correção propostas por Doorembos e Pruitt (1977).

$$Kc = Kc_{tab}(0,6035 fc + 0,4808) \quad (5)$$

Em que,

Kc : Kc ajustado para pomares com cobertura reduzida (adimensional);

Kc_{tab} : valor de Kc da Tabela 1 (D) (adimensional);

fc : fração de cobertura atual (adimensional);

Ao transferirem os valores do pomar de referência utilizado por Samani et al. (2011) (Tabela 1), Ibraimo et al. (2016) observaram bons resultados na estimação da ET_c por meio da Equação 5 para pomares em condições de dossel fechado. Entretanto, quando compararam os resultados de ET_c para pomares jovens sugeriram ter prudência na aplicação, especialmente naqueles que apresentam fc menor que 65%.

Samani et al. (2009) e Wang et al. (2007) apontam que o método de gestão da água também afeta os valores de Kc da noqueira-pecã. Segundo Allen et al. (1998), os efeitos do molhamento do solo têm influência sobre o Kc de todas as culturas agrícolas e, devido a isso, estudos mais minimalistas procuram fracionar o “ Kc simples” para que esse seja capaz de representar a transpiração e a evaporação, com o chamado “ Kc dual”.

Nesse contexto, é imprescindível que sejam estudados os valores de Kc simples para a noqueira-pecã, representativos de um pomar adulto, não só para expressar as situações das árvores nas condições brasileiras de cultivo, como também possibilitar o seu ajuste e refinamento para a obtenção desse parâmetro em pomares com diferentes condições de idade e manejo.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO PARA OBTENÇÃO DE ET_c E Kc

O sensoriamento remoto fornece resultados cada vez mais confiáveis que permitem avaliações espaciais e temporais, inclusive da evapotranspiração em qualquer localidade, com informações desde a década de 80 (WANG et al., 2007; LAIPELT et al., 2021; SENA, 2021). Essa estimativa tem sido realizada principalmente utilizando modelos semiempíricos, constituindo-se de algoritmos com equações ajustadas que utilizam informações dos aspectos radiativos, atmosféricos e vegetais adquiridos em imagens de satélite no balanço de energia da superfície (ALLEN et al., 2011; DINIZ, 2021; SAMANI, 2011).

Pesquisas ao redor do mundo vêm sendo conduzidas com algoritmos baseados nesse preceito para obtenção da ET_c e Kc em culturas agrícolas. Sena (2021) avaliou a ET_c do tomate através do “Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving” (SAFER) e do “Mapping

Evapotranspiration at high Resolution using Internalized Calibration” (METRIC); Diniz (2021) realizou um estudo da ET_c da banana utilizando o “Surface Energy Balance Algorithm for Land” (SEBAL) e o METRIC; Brandão et al. (2019), por sua vez, fizeram uso do SAFER ao avaliarem a ET_c do milho e seu K_c; Costa (2019) estudou o consumo hídrico do café e de duas espécies de feijão utilizando o SEBAL e o METRIC; já Samani et al. (2009) utilizaram o modelo “Regional ET Estimation Model” (REEM) para estimativa da ET_c e K_c da noqueira-pecã no Novo México (EUA).

Segundo Laipelt et al. (2021), a escolha do modelo para obtenção da evapotranspiração depende de vários fatores, incluindo o tipo de aplicação, resoluções espaciais e temporais e a qualidade dos dados meteorológicos disponíveis. Em seu trabalho, os autores analisaram o desempenho dos algoritmos SEBAL e do SSEBop (Balanço de Energia de Superfície Simplificado) e concluíram que o SEBAL rendeu melhor precisão para os trópicos úmidos do Brasil.

Dentre os modelos semiempíricos aplicados para a estimativa de evapotranspiração, o SEBAL tem se demonstrado capaz de ser aplicado para a gestão de recursos hídricos, sendo o mais aplicado na atualidade com resultados representativos para diferentes climas do mundo (ALLEN et al., 2011). Os bons resultados do SEBAL se resumem a vantagens específicas do modelo, entre elas o balanço completo de energia pixel a pixel utilizando dados complementares de superfície, conseguindo estimar a evapotranspiração com uma resolução de 30 metros (DINIZ, 2021; ALLEN et al., 2021).

A característica de balanço pixel a pixel do SEBAL exige calibração interna para seleção de pixels âncoras representativos de extremos de umidade e temperatura da imagem. Essa rotina é padrão no funcionamento do algoritmo, entretanto pode gerar erros na estimativa de evapotranspiração devido a variação espacial das imagens (LAIPELT et al., 2021).

Devido a isso, esses algoritmos demandam especialistas treinados com conhecimento sobre o geoprocessamento de imagens, balanço de energia, radiação, vegetação e práticas agrícolas (ALLEN et al., 2011). Além disso, a sua utilização normalmente é realizada após o download das imagens e seu pré-processamento pelo usuário em softwares específicos. Dessa forma, o tempo para implementação das rotinas, o processamento de dados e o custo podem ser empecilhos para a obtenção da evapotranspiração a partir desses modelos (SAMANI et al., 2011).

Nesse sentido, a plataforma gratuita de geoprocessamento em nuvem Google Earth Engine (GEE) (GOLERICK et al., 2017) tem se demonstrado uma interessante opção para estudos hidrometeorológicos. Com o acesso a capacidade de processamento de computadores

de alta performance e aos principais produtos de sensoriamento remoto existentes atualmente, através da nuvem, o GEE funciona como um meio de automatizar a entrada e manipulação de dados, acelerando a obtenção dos resultados (DOS SANTOS, 2020; LAIPELT et al., 2021).

Laipelt et al. (2021) facilitaram o uso do SEBAL com o aplicativo geeSEBAL, desenvolvido no GEE, e obtiveram resultados consistentes para o Brasil. Além do geeSEBAL, o SSEBop BR Evapotranspiração baseado no SSEBop (ANA, 2020) e o EEFlux baseado no METRIC (ALLEN et al., 2015), são aplicativos disponíveis no GEE para cálculo da evapotranspiração com elevada acurácia.

O geeSEBAL tem como objetivo estimar a evapotranspiração em diferentes escalas espaciais e temporais, em qualquer região do mundo, utilizando toda a coleção do satélite Landsat e conjunto de dados horários do ERA5-Land. A série de satélites Landsat é desenvolvida pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) e atualmente conta com oito satélites em órbita (INPE, 2022). A cada lançamento, os satélites Landsat evoluem em resoluções e sensores embarcados. O ERA5-Land apresenta-se como a quinta geração do “European ReAnalysis”, projeto que visa o monitoramento via sensoriamento remoto dos ciclos de energia e água na superfície terrestre (MUÑOZ-SABATER et al., 2021).

Para a avaliação do aplicativo geeSEBAL, Laipelt et al. (2021) utilizaram dados de evapotranspiração de torres de fluxo localizadas em diferentes biomas brasileiros em comparação com os dados obtidos no geeSEBAL a partir de uma calibração realizada no algoritmo. Essa calibração foi baseada na seleção arbitrária e manual dos percentis para representação dos pixels que representam os extremos de temperatura e índice de vegetação normalizada (NDVI) nas regiões de cada torre de fluxo. Assim, a avaliação da metodologia resultou em grupos de percentis que podem ser utilizados em locais com características similares para que uma melhor aferição de evapotranspiração (ALLEN et al., 2011, LAIPELT et al., 2021).

Assim, tendo em vista que o geeSEBAL se mostra de fácil utilização e eficaz na estimativa de evapotranspiração, oferecendo ainda a possibilidade de maior representatividade da situação climática brasileira, pressupõe-se que forneça resultados adequados para o estudo da necessidade hídrica da noqueira-pecã.

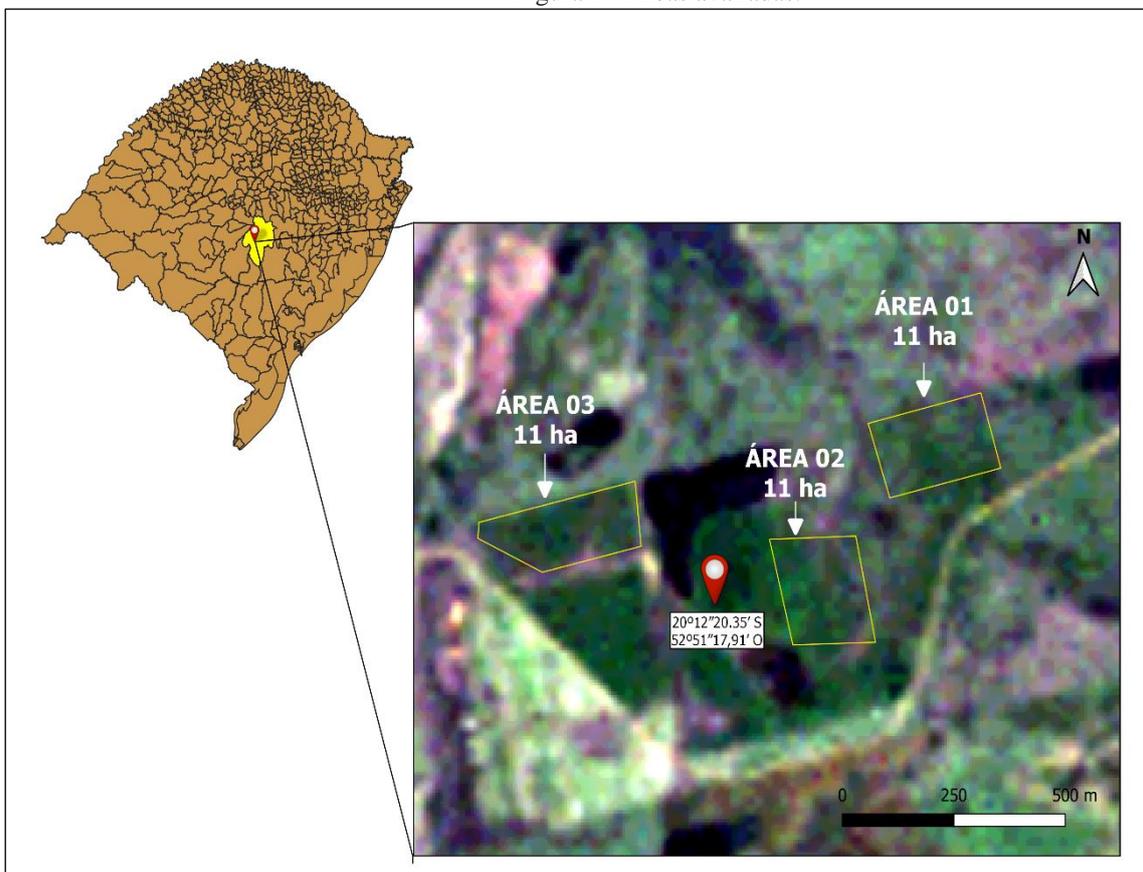
3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em um pomar comercial localizado em Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul. O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido por Köppen, com precipitação média anual de 1.500 mm.

O pomar foi implantado entre 1968 e 1973, com espaçamento de 10 m x 10 m entre plantas, e o estudo abrangeu as condições do pomar de 1992 a 1999. As árvores eram irrigadas utilizando sistema de microaspersão, com frequência de dois dias, repondo a ET_c utilizando a metodologia do Tanque de Classe A para obtenção da ET_o , com coeficiente do tanque (k_p) igual a 0,7. Os valores de K_c foram utilizados de acordo com Doorembos e Pruitt (1977) (Tabela 1), visto que era a metodologia disponível na época. Quando ocorria chuva com altura menor que a ET_c , a irrigação era acionada para suplementar o déficit.

Para obtenção da ET_c do pomar a partir do geeSEBAL, foram separadas três áreas homogêneas do pomar (Figura 1) que apresentassem f_c representativa de árvores adultas com 20 anos ($f_c = 80\%$). Cada área possuía 11 ha, totalizando 33 ha para estudo.

Figura 1 - Áreas avaliadas.



Fonte: Land Viewer - 14/10/1992 (adaptado pela autora).

Utilizaram-se imagens Landsat disponíveis no aplicativo geeSEBAL para o período de 01 de setembro a 31 de maio, representantes das safras de 1992 a 1999, para a coordenada do pomar (20° 12” 20,35’ S, 52° 51” 17,91’ O). Das imagens resultantes, foram selecionadas aquelas com cobertura de nuvens igual a 0% nas áreas analisadas no pomar.

O geeSEBAL fornece informações de evapotranspiração diária no ponto escolhido. Esse valor, segundo Allen et al. (2011), é uma extrapolação que leva em consideração a fração evaporativa calculada a partir de estimativas de fluxo no balanço de energia.

O grupo de percentis utilizado foi o representativo do bioma pampa, conforme indicado por Laipelt et al. (2021): 5% para NDVI frio (“top NDVI”), 1% para Ts frio (“Coldest LST”) e NDVI quente (“Lowest NDVI”) e 10% para Ts quente (“Hottest LST”). A Figura 2 exemplifica a configuração do aplicativo para o download de uma das imagens analisadas.

Figura 2 - Imagens representativas da interface do geeSEBAL.

The screenshot displays the geeSEBAL web interface with the following sections:

- Data search:** Date range from 1992-09-01 to 1999-05-31.
- Location Information:** Coordinates -52.84741488092714, -30.202915259844783 and a Search button.
- Select scene:** Selected scene: LANDSAT IDLT05_L1TP_222081_19940427_20170114_01_T1 / Cloud 0%.
- Products:**
 - RGB:
 - NDVI: (min: 0, max: 1)
 - LST: (min: 285, max: 320)
 - EF: (min: 0, max: 1)
 - Daily ET: (min: 0, max: 7)
- Percentiles for automated calibration:**
 - Top NDVI: 5
 - Coldest LST: 1
 - Lowest NDVI: 1
 - Hottest LST: 10

The interface also features two satellite maps on the right side showing the study area with a red overlay indicating the selected scene.

Fonte: geeSEBAL (adaptado pela autora).

As imagens obtidas foram baixadas em arquivos “geo-tiff”, representando a distribuição espacial da ETc. Em seguida, essas imagens foram adicionadas no software QGIS, recortando-se as áreas de interesse no pomar com camada “shapefile”. A ETc representativa do pomar foi obtida pela média das três áreas, utilizando-se ferramenta de estatística zonal.

A ETo foi determinada para os mesmos dias das imagens de satélite, utilizando o método padrão FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), por meio do software CropWat. Para essa determinação, foram utilizados dados de temperatura máxima, temperatura mínima, velocidade do vento e umidade relativa do ar, medidos em estação meteorológica convencional, pertencente à propriedade e localizada próxima à área de estudo.

Devido a pouca disponibilidade de imagens para uma safra, os valores de ETc foram organizados levando em consideração o dia e o mês das imagens, compondo o período que engloba o ciclo da cultura. Para a delimitação do ciclo e duração dos estágios fenológicos, foram considerados os intervalos propostos por Doorembos e Pruitt (1977) (Tabela 1).

A partir dos valores de ETc e ETo, foi possível a obtenção dos valores de Kc para cada imagem analisada, os quais dentro de cada estágio fenológico foram suavizados por meio de sua média, sendo possível a composição da curva característica do Kc no ciclo da noqueira-pecã.

Para se avaliar o desempenho do geeSEBAL, os valores suavizados de Kc foram comparados com aqueles apontados por Allen et al. (1998) na Tabela 1 e corrigidos para o local de estudo pela equação Equação 2 (Kc-FAO) utilizando os dados de umidade relativa do ar e velocidade do vento da estação meteorológica convencional e assumindo uma altura de 10 m (Tabela 2).

Tabela 2 – Umidade relativa do ar mínima e velocidade do vento média e valores Kc apontados por Allen et al. (1998) corrigidos para o local de estudo.

Estágio	RH_{min} (%)	u_2 (m/s)	Kc-FAO
Inicial	61	1,5	0,68
Desenvolvimento	56	1,3	Interpolar
Intermediário	50	1,1	1,07
Final	56	1,0	0,73

Fonte: Autora.

Por fim, os resultados de ETc, Eto e Kc foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk com alfa de 5%, para verificação de sua normalidade; e os dois valores de Kc para cada período foram comparados utilizando o índice RMSE (raiz do erro médio ao quadrado) (Equação 6).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - E_i)^2}{n}} \quad (6)$$

Em que,

O_i : valor observado (Kc-FAO);

E_i : valor estimado (Kc obtido);

n : número de amostras.

As informações sobre as imagens analisadas encontram-se na Tabela 3. No total, foram obtidas 30 imagens do satélite Landsat 5 ao longo das seis safras no período de setembro a maio.

Tabela 3 - Informações das imagens obtidas no geeSEBAL.

Safra	Data da Imagem	Cobertura de nuvens	Safra	Data da Imagem	Cobertura de nuvens
94/95	18/09/1994	3%	93/94	05/01/1994	3%
95/96	21/09/1995	1%	94/95	08/01/1995	11%
98/99	29/09/1998	0%	95/96	11/01/1996	41%
95/96	07/10/1995	49%	96/97	13/01/1997	16%
92/93	14/10/1992	0%	93/94	21/01/1994	31%
95/96	23/10/1995	0%	96/97	29/01/1997	10%
92/93	30/10/1992	19%	93/94	06/02/1994	12%
93/94	02/11/1993	0%	97/98	17/02/1998	5%
94/95	21/11/1994	0%	98/99	20/02/1999	16%
98/99	02/12/1998	8%	94/95	14/04/1995	7%
94/95	07/12/1994	5%	96/97	03/04/1997	5%
95/96	10/12/1995	0%	97/98	06/04/1998	0%
94/95	23/12/1994	0%	95/96	16/04/1996	38%
96/97	28/12/1996	1%	93/94	27/04/1994	0%
98/99	03/01/1999	2%	93/94	29/05/1994	3%

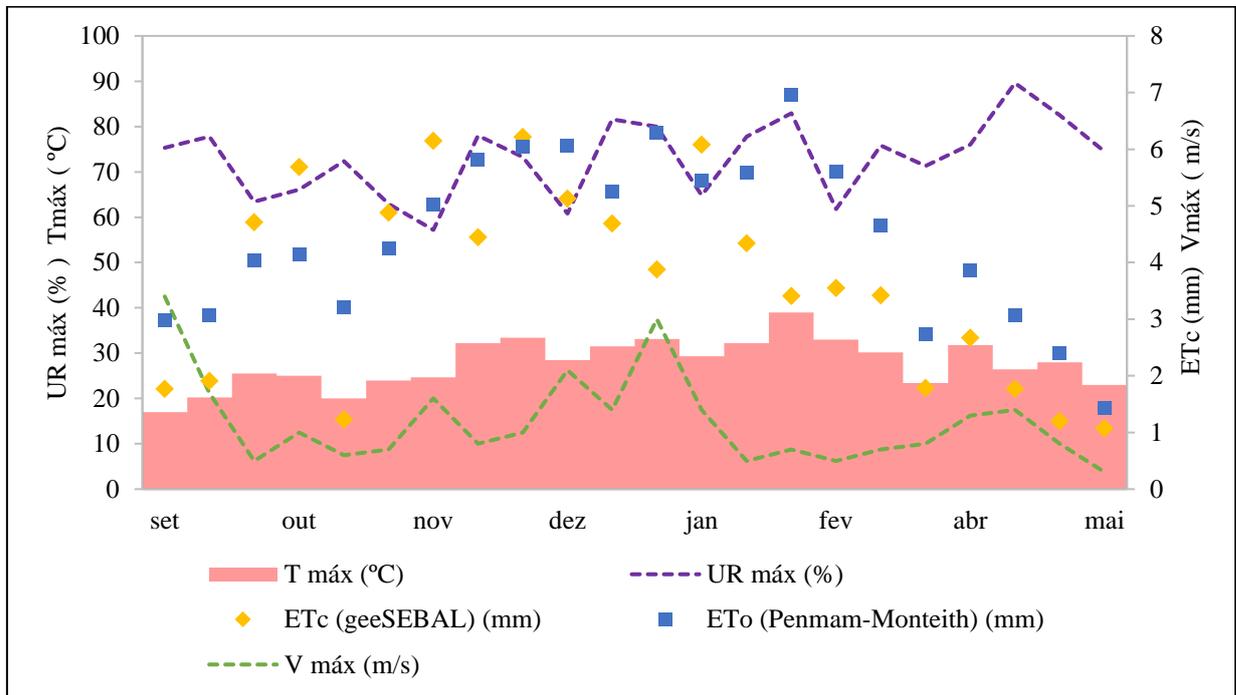
Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 observa-se que há imagens com altas coberturas de nuvens (49%, 41%, 38% e 31%), que podem influenciar na ET_c obtida, dada a sensibilidade do geeSEBAL no domínio espacial (LAIPELT et al., 2021). Quando a imagem raster é adquirida no aplicativo, o algoritmo calcula os valores de evapotranspiração levando em consideração toda a cena, utilizando os pixels quente e frio, escolhidos no momento da calibração, como parâmetros para a estimativa de evapotranspiração dos demais pixels que compõem a imagem. Assim, caso haja demasiada cobertura de nuvens, especialmente acima de zonas candidatas a pixel quente e frio, o resultado de evapotranspiração em toda a imagem pode ser subestimado ou superestimado, pois se baseará em pixels que podem não representar adequadamente os extremos de evapotranspiração (KAYSER et al., 2022). Além disso, o satélite Landsat 5 apresenta-se mais sensível a essas variações do que satélites mais recentes embarcados com filtros de nuvens, caso do Landsat 8, por exemplo.

A Figura 3 demonstra o comportamento da ET_c e ET_o, bem como os valores de temperatura, umidade e vento registradas nos dias das imagens analisadas. Ressalta-se que os resultados do teste de normalidade indicaram que os dados de ET_c, ET_o e K_c obedecem a uma distribuição normal com alfa menor que 0,05 (SHAPIRO e WILK, 1965).

Figura 3 - Valores de ETc, ETo obtidos no geeSEBAL e utilizando o método FAO Penman-Monteith, respectivamente; e variáveis meteorológicas máximas registradas no dia das imagens.



Fonte: Autora.

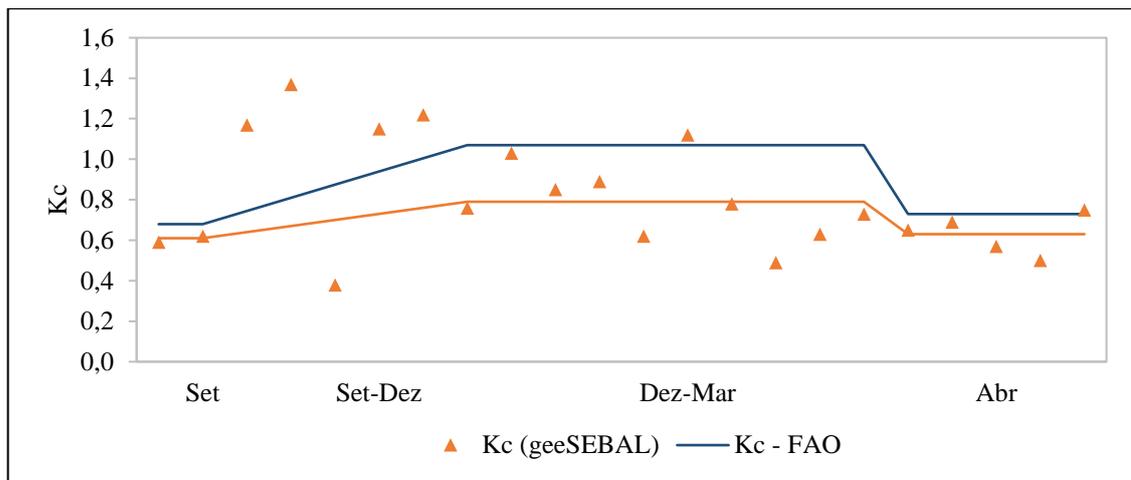
Allen et al. (2011) aponta que a ETo é geralmente 20 a 30% menor que a ETc de árvores adultas com área foliar desenvolvida. Entretanto, em apenas seis dias essa afirmação se fez verdadeira na série de dados analisada, como mostra a Figura 3. Diniz (2021) também observou que a ETc obtida no algoritmo SEBAL apresentou a maioria de seus valores inferiores a ETo calculada pelo método Penman-Monteith.

Além das condições das imagens (cobertura de nuvens), a não convergência da ETc pode ser dada também pelas condições meteorológicas no período do intervalo das imagens. Eventos de precipitação ou seca extrema em até cinco dias antes da data da imagem podem influenciar nos resultados de evapotranspiração, causando uma variação que pode chegar a $\pm 5\%$ (ALLEN et al., 2011; KAMBLE, KILIC e HUBBARD, 2013). Isso porque, em caso de eventos de seca, o fechamento dos estômatos e consequente redução da ETc é o mecanismo natural das plantas para enfrentar o déficit hídrico (ALLEN et al., 2011). O contrário ocorre quando há plena disponibilidade hídrica e por isso a planta pode atingir a sua ETc máxima (ANGELLOCI, PEREIRA e SENTELHAS, 2007).

Dessa forma, constata-se que, dentro do conjunto de imagens analisadas, foram observados “outliers”, isto é, valores contrastantes tanto de subestimação quanto superestimação da ETc. Esse tipo de situação é considerado comum quando se trabalha com sensoriamento remoto, uma vez que essa técnica depende do bom funcionamento dos satélites,

intervalo de aquisição de imagens e de variações meteorológicas e espaciais (ALLEN et al., 2011; KAMBLE, KILIC e HUBBARD, 2013; SAMANI et al., 2011). Por isso, excluíram-se os “outliers” como realizado por Wang et al. (2007) para cálculo dos valores de Kc e do índice RMSE, apresentados na Figura 4 e na Tabela 4.

Figura 4 - Valores observados de Kc e curva demonstrando a sua suavização ao longo do ciclo fenológico em comparação com a curva proposta por Allen et al (1998), com correções climáticas (Kc-FAO).



Fonte: Autora.

Tabela 4 – Valores estimados de Kc conforme a metodologia, Kc-FAO com correções climáticas e valores obtidos de RMSE.

Estágio	Duração	Kc (geeSEBAL)	Kc-FAO	RMSE
Inicial	Setembro	0,56	0,80	0,27
Desenvolvimento	Setembro - Dezembro	Interpolar	Interpolar	0,26
Intermediário	Dezembro - Fevereiro	0,90	1,00	1,03
Final	Março - Maio	0,77	0,80	0,49

Fonte: Autora.

Para todo o período, o resultado para RMSE foi de 0,25, similar ao encontrado por Kamble, Kilic e Hubbard (2013), os quais obtiveram um RMSE de 0,19 para o Kc do milho estimado a partir de sensoriamento remoto. Nesse âmbito, a metodologia se mostra promissora visto a dificuldade de se obter parâmetros de evapotranspiração para culturas perenes em comparação a culturas anuais.

Com relação aos estágios final e inicial, observa-se na Figura 4 que os valores de Kc foram inferiores aos indicados pela FAO e aproximaram-se dos indicados por Ibraimo et al. (2016) (Tabela 1), cujo estudo foi realizado em clima subtropical semiárido no hemisfério sul. Essa situação era esperada nesses períodos, uma vez que a evaporação do solo é o componente principal da ETc, já que a planta não apresenta pleno desenvolvimento foliar ou está em época de amarelecimento e queda das folhas, o que reduz seus valores (KAMBLE, KILIC e HUBBARD, 2013).

Entretanto, os valores menores de ETc em relação à ETo refletiram nos valores de Kc obtidos para a noqueira-pecã (Figura 4) durante todo o ciclo, sendo esses inferiores aos propostos por Allen et al. (1998), mesmo após correções, especialmente no período intermediário, quando a média de Kc foi de 0,79. O valor de RMSE exprime o distanciamento dos valores comparados, sendo esse igual a 1,03. Inclusive, tal valor é considerado baixo frente aos valores apontados também por outros trabalhos que relataram um consumo hídrico máximo para esse período. Os estudos de Allen et al. (1998), Sammis, Mexal, Miller (2004) e Samani et al. (2011) foram realizados em clima semiárido, o qual possui uma maior demanda evaporativa. Doorembos e Pruitt (1977), em condições normais de clima úmido, sugeriram Kc máximo igual a 1,0 na fase intermediária, o valor mais próximo dos resultados deste trabalho.

No presente estudo, constatou-se uma maior necessidade hídrica no período de desenvolvimento, com Kc médio de 1,06. Conforme Frusso (2018), esse período compreende todo o desenvolvimento vegetativo (até atingir 100% da área foliar), o início do desenvolvimento reprodutivo, com a polinização, e os primórdios do crescimento lento da noz. Similarmente, Ibraimo et al. (2016) chegaram a uma média de Kc igual a 1,0 para o período reprodutivo, próximo ao final da expansão celular. Sugere-se que os valores altos de Kc no período de desenvolvimento podem ser reflexo da boa condição hídrica do pomar, potencializado pela correta irrigação na época pós-colheita, o que evitou que a planta apresentasse dificuldades para sair da dormência na safra subsequente e assim explorasse seu máximo potencial evapotranspirativo (CONNER e WORLEY, 2000; MADERO, 2017).

Mesmo que com valores pontuais altos de Kc, chegando a 1,4, no período de desenvolvimento, considera-se que os resultados obtidos foram adequados. Isso porque, essa situação já fora reportada por outros autores, caso dos trabalhos de Samani et al. (2011); Ibraimo et al. (2016); e Sammis, Mexal e Miller (2004), que observaram Kc pontuais em torno de 1,3 com dias antecedentes e subsequentes com valores inferiores a 0,8, chegando a observar valores pontuais de 0,2 nas outras fases.

Com relação a ferramenta geeSEBAL, a escolha dos percentis se apresenta como um ponto crítico para a sua aplicação em regiões de clima úmido (KAYSER et al., 2022), sendo que sua calibração correta pode reduzir o erro na estimativa de ETc em 36% (LAIPELT et al., 2021). Percentis padrões para a utilização do modelo SEBAL foram indicados por Allen et al. (2013), entretanto, sua aplicação pode causar superestimação ou subestimação dos dados de ETc, dependendo do local onde é empregado. Assim como Laipelt et al. (2021), Kayser et al. (2022) também sugeriram outros grupos de percentis mais adequados a situação de clima do sul do Brasil, entretanto utilizaram uma base de dados meteorológicos distinta da que está disponível para o usuário no geeSEBAL.

Para a utilização correta de metodologias de sensoriamento remoto, é imprescindível o conhecimento de parâmetros adequados, levando em consideração, principalmente, a vegetação local (ALLEN et al, 2011). No caso do geeSEBAL, para usuários, esses parâmetros se resumem aos percentis disponíveis para alteração na interface do aplicativo. Dessa maneira, investigações adicionais são necessárias para que a aplicação dessa técnica de sensoriamento remoto seja difundida como ferramenta de investigação do consumo hídrico da noqueira-pecã.

5 CONCLUSÕES

Valores de K_c para a noqueira-pecã na região de Cachoeira do Sul – RS foram obtidos por meio da utilização do aplicativo geeSEBAL. Apesar dos resultados serem menores que os indicados por Allen et al. (1998) (RMSE médio de 0,25), os mesmos encontram-se dentro do que foi retratado por outros estudos em outras regiões do mundo: média de 0,56, 1,14, 0,90 e 0,77 para os estágios fenológicos inicial, desenvolvimento, intermediário e final, respectivamente.

Os percentis utilizados permitiram atingir resultados coerentes, mas ressalta-se que a eficácia da utilização do geeSEBAL como ferramenta de manejo de irrigação fica atrelada a calibração correta do grupo de percentis definidos na interface do aplicativo, uma vez que variam com a diversidade climática e de cobertura do solo de acordo com a região de aplicação da metodologia.

O presente estudo resultou em valores de K_c que podem servir como parâmetros iniciais para seu refinamento visando a representatividade das condições brasileiras de cultivo e o adequado manejo da irrigação.

REFERÊNCIAS

- ABUDU, S. *et al.* Evapotranspiration and Crop Coefficient for Pecan Trees in El Paso, Texas. *In: 2016 Irrigation Show and Education Conference, 2016. Las Vegas. Technical Papers.* pg. 1-8.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto no Brasil.** Brasília: ANA, 2020. 41 p. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/23-estimativas-de-evapotranspiracao-real-por-sensoriamento-remoto>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- ALLEN, R. *et al.* Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. **Hydrological Processes.** Chichester, v. 25, n. 26, p. 4011-4027, 2011.
- ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements -** FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998. 300 p.
- ALLEN, R.G. *et al.* EEFlux: A Landsat-based Evapotranspiration mapping tool on the Google Earth Engine. *In: 2015 ASABE / IA Irrigation Symposium: Emerging Technologies for Sustainable Irrigation - A Tribute to the Career of Terry Howell, Sr. Conference Proceedings.* Long Beach. **American Society of Agricultural and Biological Engineers,** 2015.
- ANDALES, A. *et al.* A model of pecan tree growth for the management of pruning and irrigation. **Agricultural Water Management,** Amsterdam, v. 84, n.1-2, p. 77 – 88, 2006.
- ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA L. R.; SENTELHAS P. C. **Meteorologia Agrícola.** Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 192 p.
- BERGAMASCHI, H. *et al.* **Agrometeorologia aplicada à irrigação.** 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1992. 125 p.
- BRANDÃO, G. C. **Evapotranspiração do milho a partir de sensoriamento remoto.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Evangélica de Goiás, Anápolis, GO, 2019. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/1897>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- CONNER, P. J.; WORLEY, R. E. Alternate bearing intensity of pecan cultivars. **HortScience,** Alexandria, v. 35, n. 6, p. 1067–1069, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/hortsci.35.6.1067>. Acesso em: 18 ago. 2021.
- COSTA, J. O. **Variabilidade espacial do consumo hídrico de cultivos irrigados utilizando sensoriamento remoto.** 2019. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2019. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-17102019-144457/pt-br.php>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- DE MARCO, R. *et al.* The Irrigation Effect on Nuts’ Growth and Yield of *Carya Illinoensis*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** Rio de Janeiro, v. 93, n. 1, p.1-8. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120181351>. Acesso em: 18 ago. 2021.

DEPARTAMENTO DE POLÍTICAS AGRÍCOLAS E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha 2020**. Porto Alegre: DPADR, 2020. 39 p. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202009/26185534-radiografia-da-agropecuaria-gaucha-2020-1.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2021.

DIAS, H. E. Necesidades hídricas y riego del pecán. *In*: LAVADO, R. S.; FRUSSO, E. A. (ed.). **Producción de pecán en Argentina**. Buenos Aires: INTA, 2004. p. 1-21.

DINIZ, R. R. S. **Modelos SEBAL e METRIC para estimativa da evapotranspiração da cultura da banana irrigada**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/21339>. Acesso em: 20 dez. 2021.

DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**: Irrigation and drainage paper 24. Rome: FAO, 1977. 144 p.

DOS SANTOS, L. L. **GEESEBAL: uma ferramenta Google Earth Engine para estimativa de séries temporais de evapotranspiração**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/219375>. Acesso em: 13 out. 2021.

FRONZA, D. *et al.* Pecan cultivation: general aspects. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 2, p. 1 – 9, 2018.

FRUSSO, E. A. **Características morfológicas y fenológicas del pecán**: Guía fenológica ampliada y resumida. Buenos Aires: INTA, 2018, 25 p. Disponível em: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_2018_caracteristicas_morfologicas_y_fenologicas_d_el_pecan_gui%C3%A1_fenologica_ampliada_y_resumida.pdf . Acesso em: 08 jan. 2021.

GONTIA, N. K.; TIWARI, K. N. Estimation of crop coefficient and evapotranspiration of wheat (*Triticum aestivum*) in an irrigation command using remote sensing and GIS. **Water Resources Management**, Athens, v. 24, n. 7, p. 1399–1414, 2010.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 202, n. 15, p. 18-27, 2017.

IBRAIMO, N. A. *et al.* Estimating water use of mature pecan orchards: A six stage cropgrowth curve approach. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 177, n. 15, p. 359–368, 2016.

INTERNATIONAL NUT COUNCIL. **Nuts & Dried Fruits Statistical Yearbook 2019/2020**. Madrid: INC, 2020. 80 p. Disponível em: https://www.nutfruit.org/files/tech/1587539172_INC_Statistical_Yearbook_2019-2020.pdf. Acesso em: 3 nov. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de Geração de Imagens: **Landsat**. Brasília, 2022. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat> . Acesso em: 10 jan. 2022.

KAMBLE, B.; KILIC, A.; HUBBARD, K. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. **Remote Sensing**. Basel, v. 5, n. 4, p. 1588-1602, 2013.

KAYSER, Rafael Henrique *et al.* Assessing geeSEBAL automated calibration and meteorological reanalysis uncertainties to estimate evapotranspiration in subtropical humid climates. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v. 314, n. 1, 2022.

LAIPELT, L. *et al.* Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 178, n. 8, p. 81-96, 2021.

LANGE JR, H. *et al.* Resposta floral e crescimento das noqueiras-pecã ‘Barton’ e ‘Shawnee’ pelo posicionamento cardeal. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 7, p.1-16, 2020.

MADERO, E. R. Importancia del suministro de agua en el huerto de pecán. *In*: MADERO, E. R. *et al.* **Manual de manejo del huerto de nogal pecán**. Buenos Aires: INTA, 2017. p.65-70.

MAROUELLI, W. A. *et al.* Manejo de água de irrigação. *In*: DE SOUSA, V. F. *et al.* (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 2011. p. 159-232.

MARTINS, C. R. *et al.* **Situação e Perspectiva da Nogueira-pecã no Brasil**. Pelotas: Embrapa, 2018, 31 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1100226/situacao-e-perspectiva-da-nogueira-peca-no-brasil>. Acesso em: 08 jan. 2021.

MUÑOZ-SABATER, J. *et al.* ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth System Science Data**, Germany, v. 13, n. 9, p. 4349-4383, 2021.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

ROVANI, F. F. M. **Zoneamento de Risco Climático do Cultivo da Nogueira Pecã (*Carya Illinoenses*) para o Rio Grande do Sul**. 2016. 232 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3942>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SAMANI, Z. *et al.* A simple irrigation scheduling approach for pecans. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 4, p. 661–664, 2011.

SAMANI, Z. *et al.* Using remote sensing to evaluate the spatial variability of evapotranspiration and crop coefficient in the lower Rio Grande Valley, New Mexico. **Irrigation Science**, New York, v. 28, n. 1, p. 93-100, 2009.

SAMMIS, T.W.; MEXAL, J.G.; MILLER, D. Evapotranspiration of flood-irrigated pecans. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 69, n. 3, p. 179–190, 2004.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Relatório Oficial N° 22/2020 – SEAPDR**. Porto Alegre, 2020. 9 p. Disponível em:

<https://www.agricultura-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/202006/12154308-relatorio-n22-estiagem-seapdr.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

SENA, C. de C. R. **Uso do sensoriamento remoto para a estimativa da evapotranspiração atual e diagnóstico do manejo da irrigação da cultura do tomate industrial em Goiás.** Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2021. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/11361>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. Na Analysis of Variance Test dor Normality: complete samples. **Biometrika**, London, v.52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

STANHILL, G. 2002. Is the Class A Evaporation Pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements? **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v. 112, n. 3, p. 233–236, 2002.

WANG, J. *et al.* Crop coefficients of open-canopy pecan orchards. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 88, n. 1-3, p. 253–262, 2007.