



**UNESP**  
HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO  
ILHA SOLTEIRA - SP

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DO MILHO NA REGIÃO NOROESTE PAULISTA

Viabilizado



**Discente: Vitor Felipe Trinca**

**Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez**

Financiado



# INTRODUÇÃO



## OBJETIVOS



## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



## MATERIAL E MÉTODOS



## RESULTADOS E DISCUÇÃO



## CONCLUSÕES

# INTRODUÇÃO

MILHO: PLANTA COMERCIAL MAIS  
IMPORTANTE COM ORIGEM NAS AMÉRICAS

**8 OU 10 MIL ANOS**

**77% DA ÁREA  
PLANTADA E 92%  
DA PRODUÇÃO**  
REGIÕES SUL, SUDESTE E CENTRO-  
OESTE

**+50% ALIMENTOS  
EM 15 ANOS**  
**3 VEZES MAIS**  
PRODUTIVIDADE COM IRRIGAÇÃO

A PRODUÇÃO DE MILHO  
É A DE MAIOR VOLUME  
DENTRE OS GRÃOS GERADOS  
**1,07 BILHÃO DE  
TONELADAS  
SAFRA 2017/2018**

**2**  
PRODUÇÃO DE MILHO EM SP  
MILHO VERÃO  
MILHO SAFRINHA

**60% ÁGUA NO AGRO**  
**52% IRRIGAÇÃO**  
**+24% ATÉ 2030**

ESTADOS UNIDOS  
CHINA  
**70% BRASIL**  
ARGENTINA

**1.282 mm**  
PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL  
**1.506 mm**  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÉDIA ANUAL  
**8**  
MESES DE DEFÍCIT HIDRÍCO

PRODUTIVIDADE  
**57%**

+ CONDIÇÕES DE TEMPERATURA FAVORAVEL

# OBJETIVO

Determinar a necessidade hídrica da cultura do milho no Noroeste Paulista

Realizar simulações do balanço hídrico e manejo da irrigação

Determinar a relação ET<sub>a</sub>/ET<sub>0</sub> nas diferentes fases fenológicas com a aplicação do modelo SAFER



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

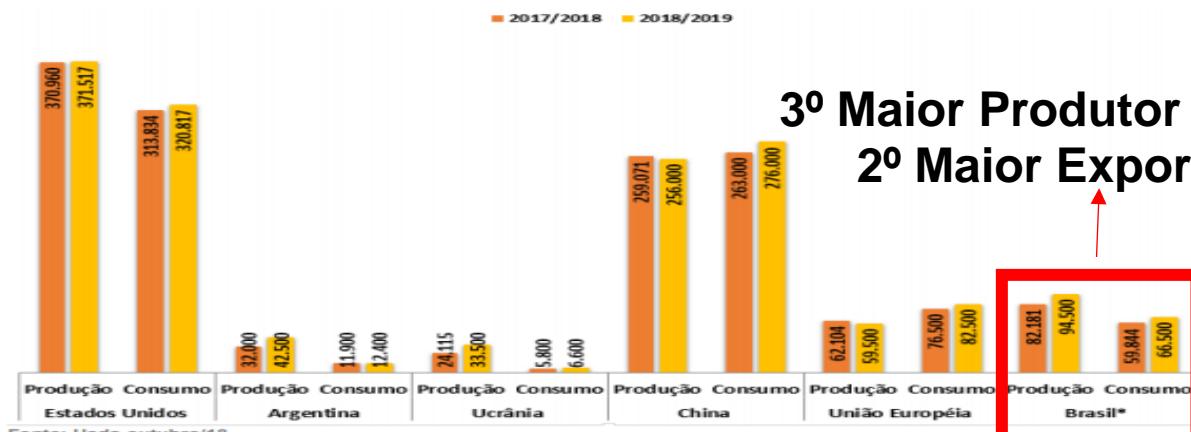
## Destaque Econômico

Safra 18/19: 16 milhões de hectares

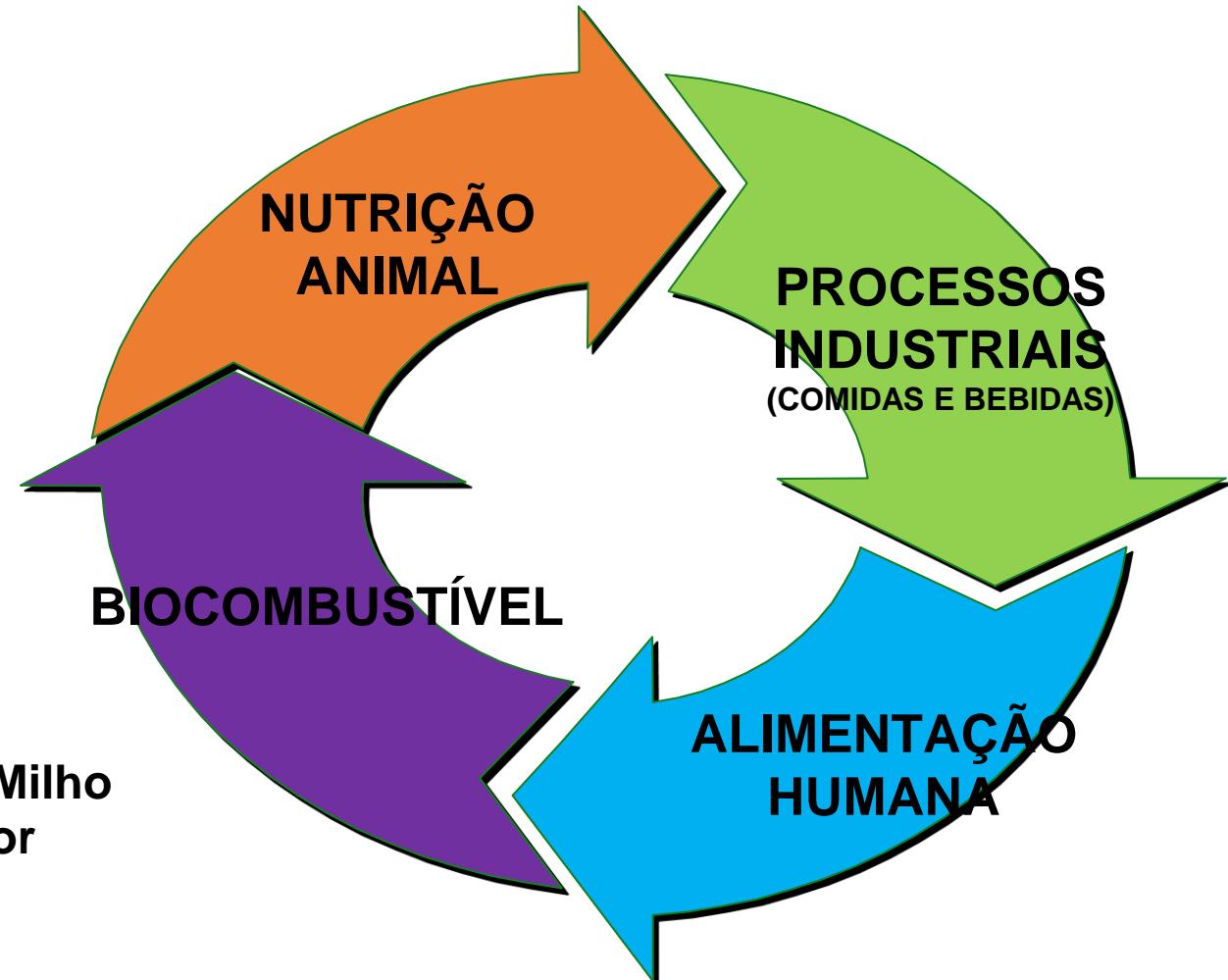


20% - SUDESTE  
Produção e Área  
Plantada

Principais Produtores e Consumidores de  
Milho no Mundo



3º Maior Produtor de Milho  
2º Maior Exportador



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## Botânica do Milho



O milho (*zea mays l.*)  
é uma graminea anual

A altura média da planta varia  
entre 1,7 e 2,5 metros

Pode ser cultivado desde o nível do mar  
até 3.600 m de altitude

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Botânica do Milho

**Planta C4: alta eficiência na utilização de  
luz e CO<sub>2</sub>**

**Temp. média diurna acima de 19ºC  
Temp. média noturna acima de 12,5ºC**

**Necessidade hídrica: 500 a 800 mm bem  
distribuídos durante o ciclo**

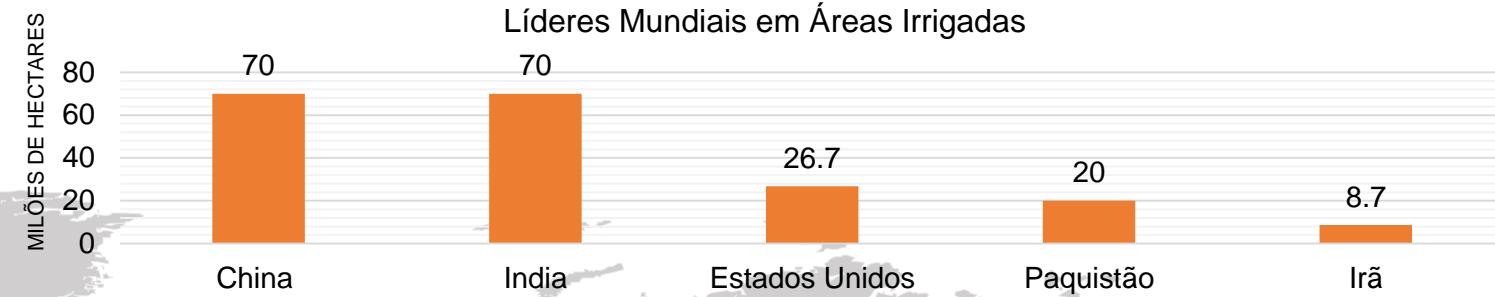
# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## Irrigação, Evapotranspiração e Uso da Água

Agricultura Irrigada iniciou-se por volta de 1900 no Rio Grande do Sul. Cultivo de Arroz.

Entre os 10 países com maior área irrigada 6,95 milhões de hectares.

Sudeste: maior área irrigada. 2,7 milhões de hectares 1,3 milhões de hectares no estado de SP.



10,09 milhões de hectares em 2030.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## Irrigação, Evapotranspiração e Uso da Água

MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO: FORMA PELA QUAL A ÁGUA PODE CHEGAR ATÉ A CULTURA

ASPERSAÇÃO

SUPERFÍCIE

LOCALIZADA

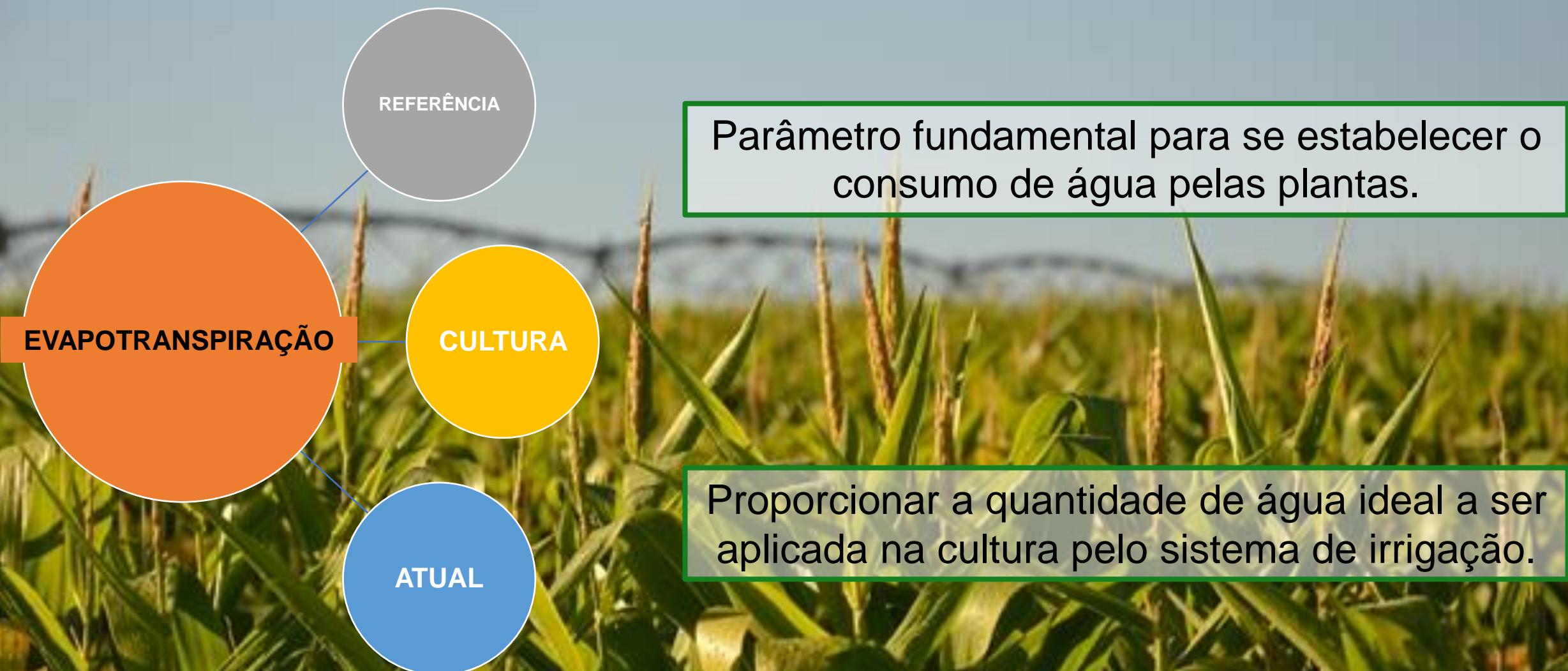
SUBTERRÂNEA

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO: CONJUNTO DE EQUIPAMENTOS, IRÁ PERMITIR O ATO DE IRRIGAR



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## Irrigação, Evapotranspiração e Uso da Água



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Evapotranspiração Atual (Eta) Definida Pelo Sensoriamento Remoto

**GRANDE POTÊNCIAL PARA SER UTILIZADA NA AGRICULTURA**



ESTIMATIVA ÁREA  
PLANTADA



PRODUÇÃO  
AGRÍCOLA



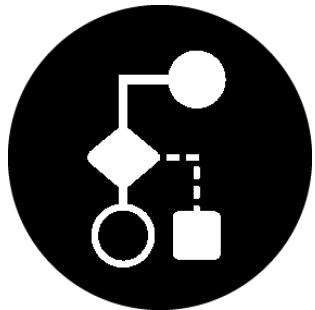
VIGOR VEGETATIVO  
DAS CULTURAS



USO E  
OCUPAÇÃO



ESTRATÉGIAS DE  
MANEJO DO SOLO,  
COMERCIAIS...



SAFER

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATUAL  
COEFICIENTES DE CULTURA  
INDICADORES DE DESEMPENHO DO USO DA ÁGUA**

Vantagens: Precisão, elevado número de dados.  
Desvantagens: Repetitividade e nuvens.

# MATERIAL E MÉTODOS

## Identificação e Caracterização da Área em Estudo

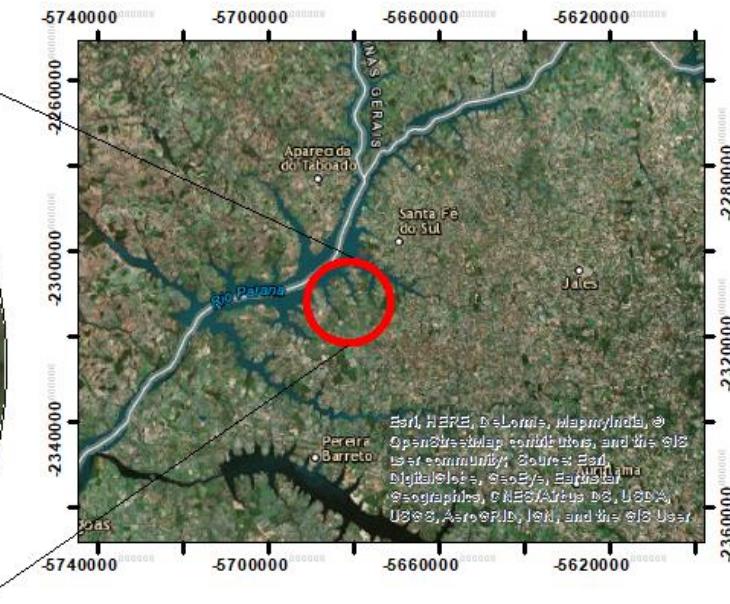
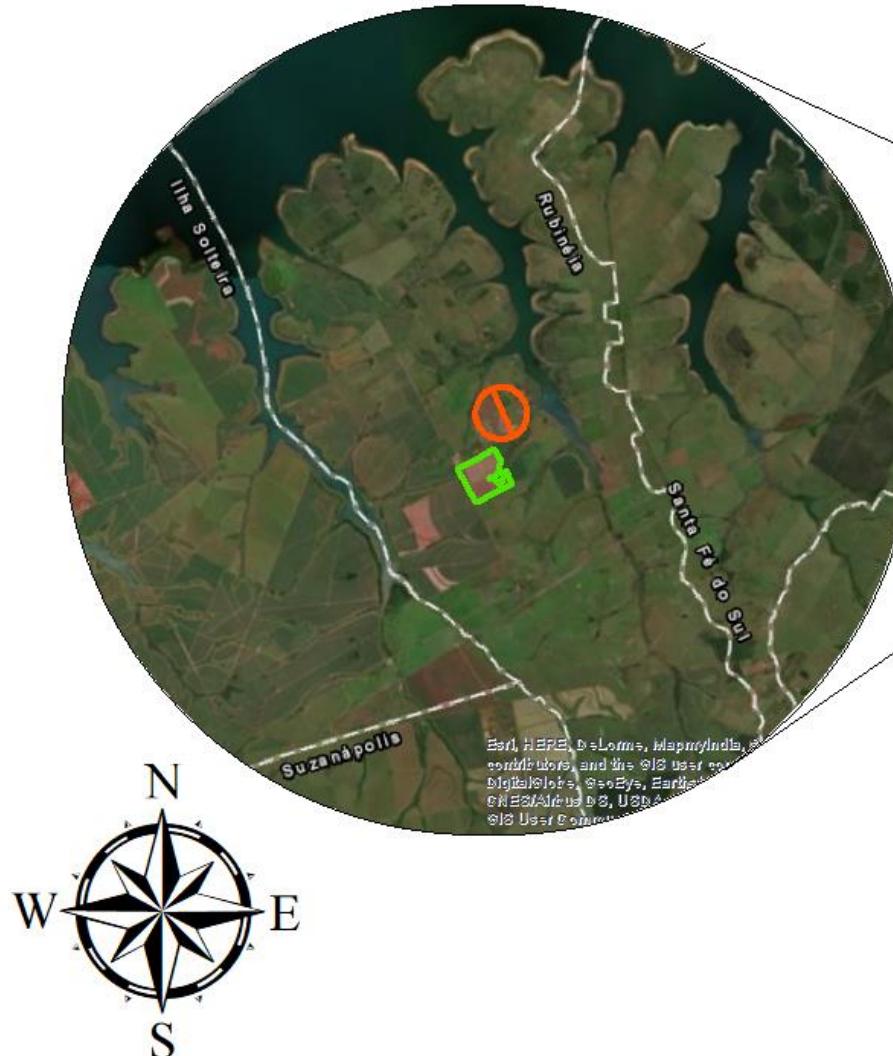
**ESTUDO FOI  
CONDUZIDO EM  
ÁREAS IRRIGADAS  
COMERCIAIS NA  
REGIÃO NOROESTE  
PAULISTA**

### PIVÔ CENTRAL

- COORDENADAS  
20°41'40" S  
50° 59' 02" O
- ÁREA  
90 hectares

### AUTOPROPELIDO

- COORDENADAS  
20°41'40" S  
50° 59' 02" O
- ÁREA  
70 hectares



0 12,5 25 50 75 100 Kilometers

**Legend**

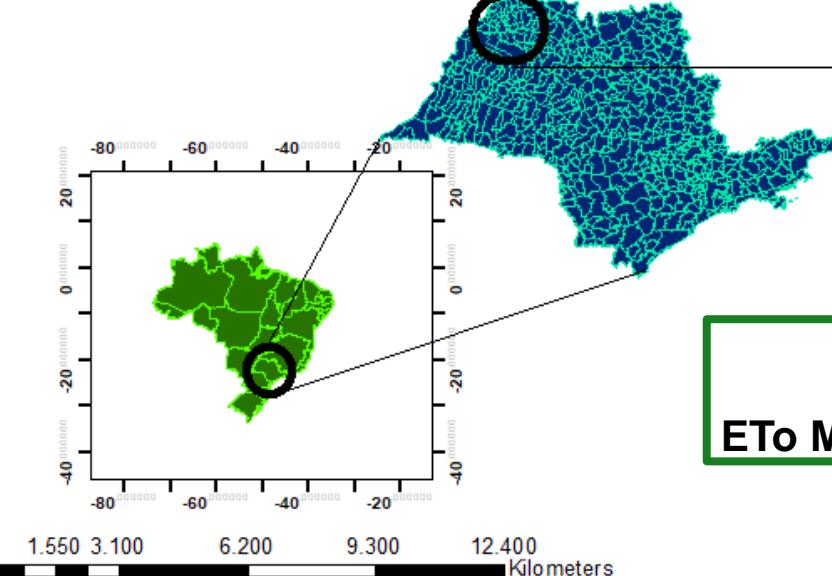
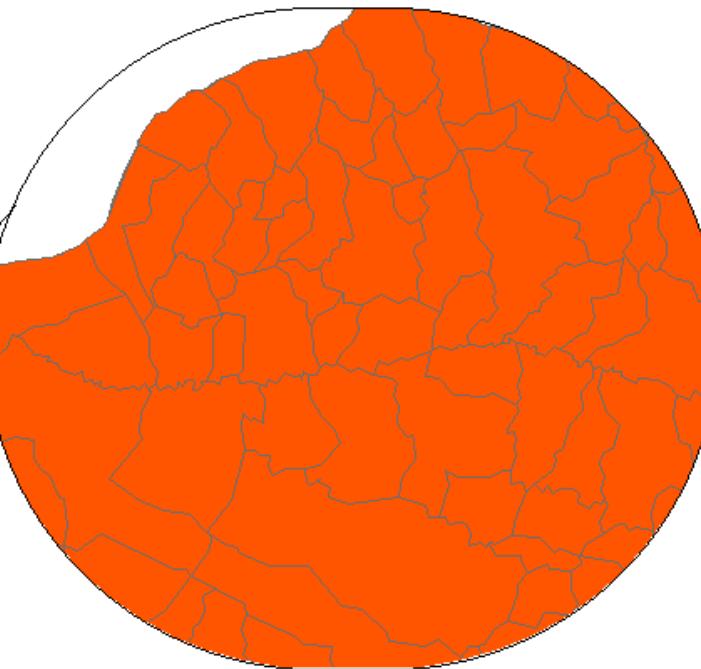
- Autopropelido (Green)
- Pivô Central (Orange)

# MATERIAL E MÉTODOS

## Identificação e Caracterização da Área em Estudo

**Aw - Clima tropical  
com estação seca de  
Inverno**

Classificação do clima, Segundo  
Koopen



**24 a 26 °C**

Temperatura Média Diária

**64,8%**

Umidade Relativa Média do Ar

(DAMIÃO et al. 2010)

**1.200 a 1.354 mm**

Precipitação Média Anual

**1.xxx mm**

ETo Média Anual (Silva Júnior et al, 2018)



Datum WGS 1984

# MATERIAL E MÉTODOS

Estimativa da Necessidade Hídrica da Cultura do Milho

## Estimativa da Necessidade hídrica da cultura do milho

$$ETc = ETo * Kc$$

Em que:

ETc = Evapotranspiração da cultura (mm/dia)

ETo = Evapotranspiração de referencia (mm/dia)

Kc = Coeficiente de cultura

# MATERIAL E MÉTODOS

## Evapotranspiração de Referência

### Evapotranspiração De Referência

$$ETo = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

Em que:

ETo = Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

Rn = Radiação neta na superfície do cultivo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>)

Ra = Radiação extraterrestre (mm dia<sup>-1</sup>)

G = Fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>)

T = Temperatura média do ar a 2 m de altura (°C)

u2 = Velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>)

e<sub>s</sub> = Pressão do vapor de saturação (kPa)

e<sub>a</sub> = Pressão real do vapor (kPa)

e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub> = Déficit da pressão de vapor (kPa)

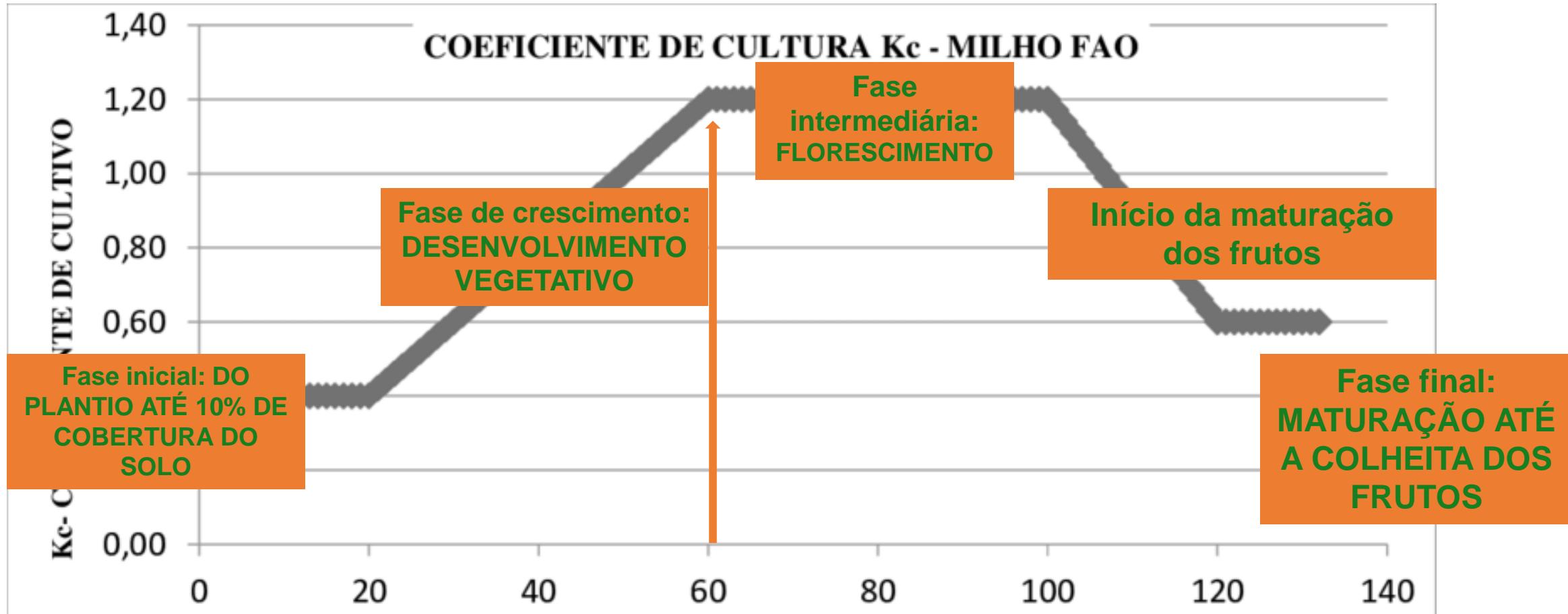
Δ = Pendente da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)

γ = constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>)

# MATERIAL E MÉTODOS

## Coeficiente de Cultivo (Kc) pelo Método Tradicional FAO

### Coeficiente da cultura (Kc) - Extraído do FAO 56



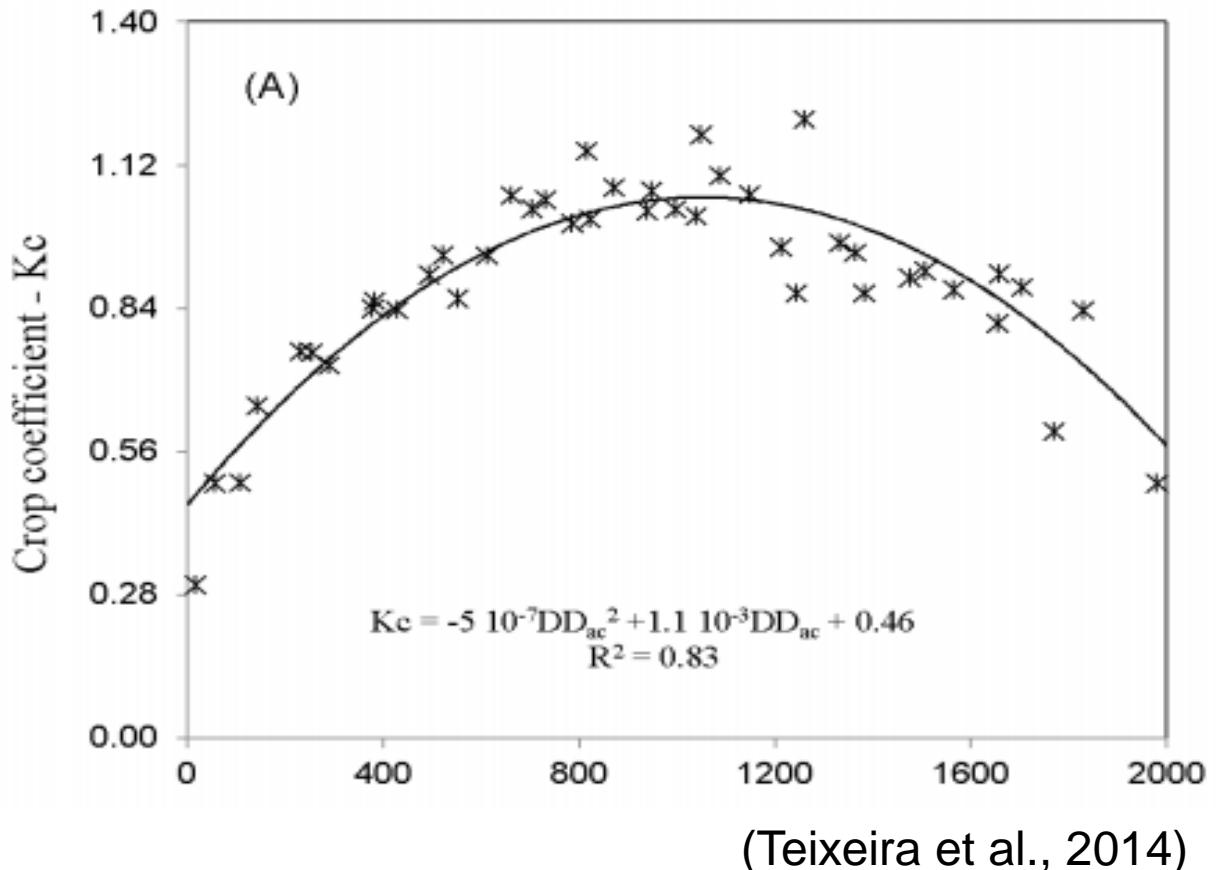
# MATERIAL E MÉTODOS

Coeficiente de Cultivo (Kc) pelo Cálculo dos Graus Dias Acumulados

## Coeficiente da Cultura (Kc) - Graus Dias Acumulados

$$Kc = -5 \cdot 10^{-7} GD_{ac}^2 + 1,1 \cdot 10^{-3} GD_{ac} + 0,46$$

Temperatura basal = 10º C



É possível obter as fases da cultura, com a utilização do graus-dias, obtendo diferentes fases fenológicas e, relacioná-las com o momento e a lâmina de irrigação.

(LIMA et al., 2008)

# MATERIAL E MÉTODOS

## Coeficiente de Cultivo (Kc) pelo Método Tradicional FAO

### Híbridos cultivados e suas fases fenológicas

Híbrido	Plantio	Colheita	Ciclo	Fases				
				I	II	III	IV	V
PRO2-AS-1555 Agroeste	25/03/2016	30/07/2016	1º Semestre	15	53	93	113	128
30A37	07/08/2016	19/12/2016	2º Semestre	15	62	102	122	135
30A37	0	06/01/2017	2º Semestre	15	58	98	118	127

# MATERIAL E MÉTODOS

Determinação Da Evapotranspiração Atual Da Cultura Usando O Modelo SAFER

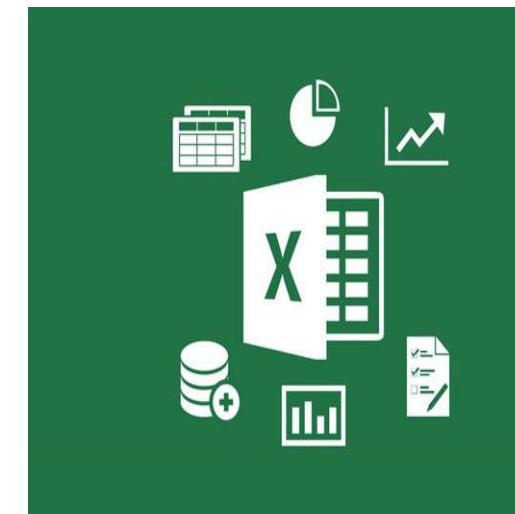
CONSTRUÇÃO DO BANCO DE IMAGENS

MAPEAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO

CORREÇÕES ATMOSFÉRICAS

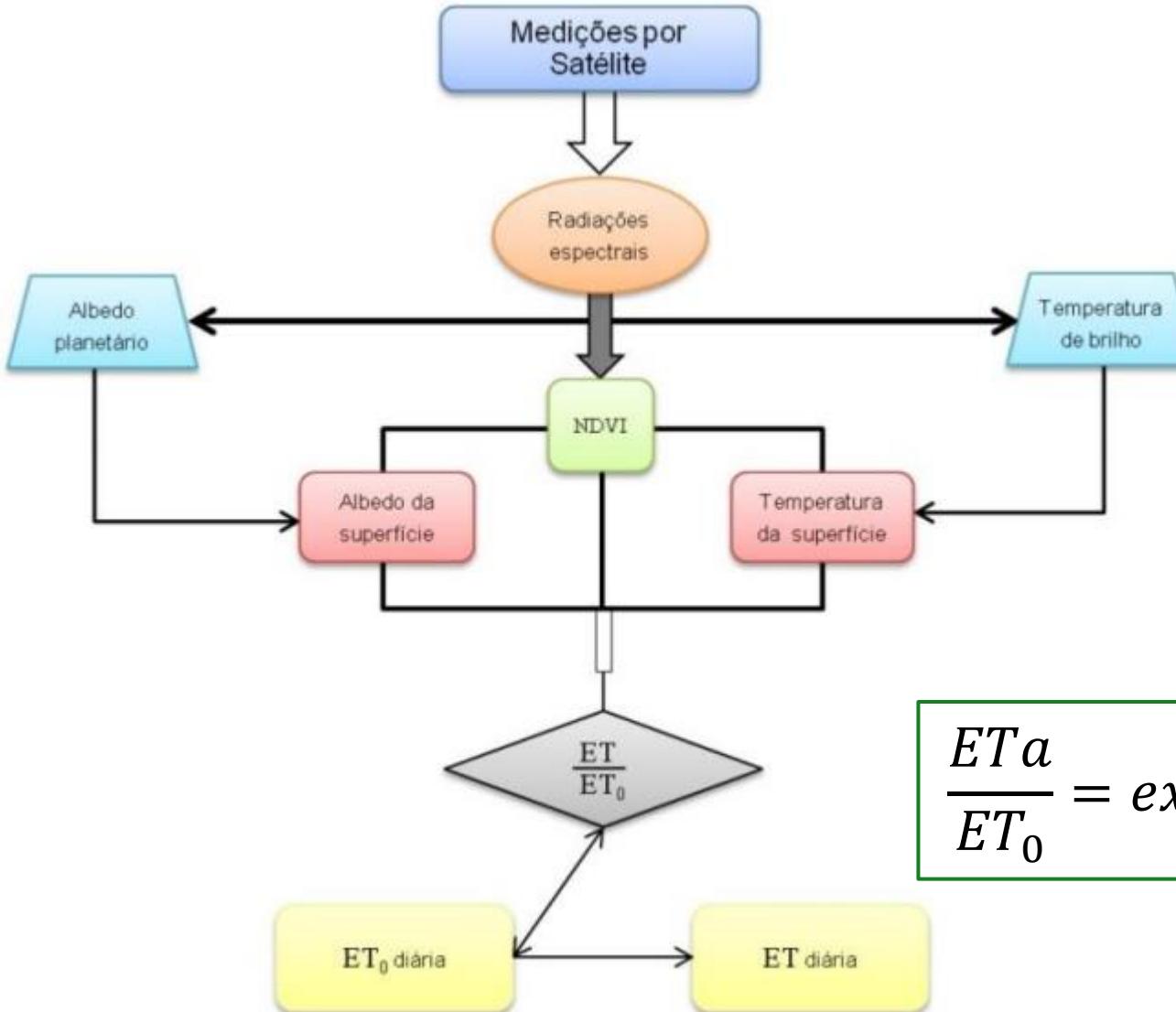
ALGORITIMO SAFER

PRODUTO FINAL



# MATERIAL E MÉTODOS

## Determinação Da Evapotranspiração Atual Da Cultura Usando O Modelo Safer

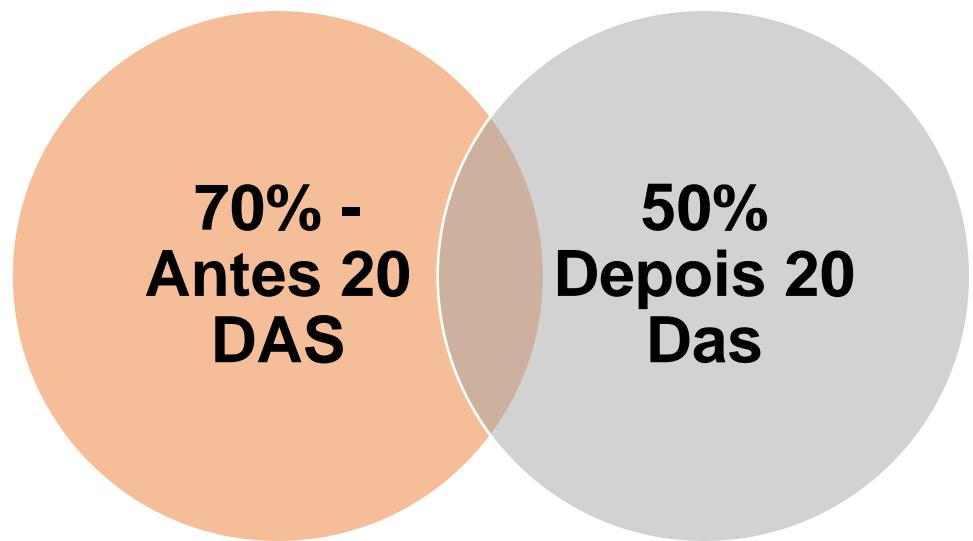


# MATERIAL E MÉTODOS

## Balanço Hídrico

**O BALANÇO HÍDRICO FOI FEITO AO NÍVEL DE RAÍZES DIARIAMENTE.**

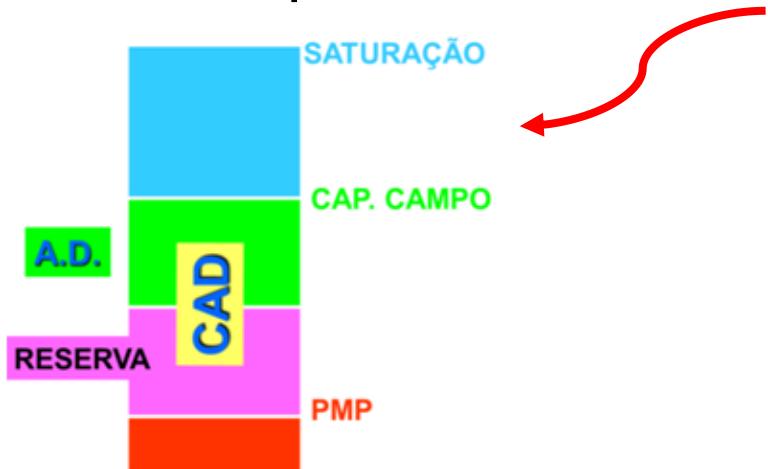
### ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO DE MANEJO



Turno de Rega Variável

Água no solo = Água disponível do dia anterior – ETc +  
Chuva + Irrigação

Profundidade de Efectiva do Sistema  
Radicular - 40 cm  
 $CAD_{Argisolo}$  - 1mm/cm (Reichardt, 1987)  
 $CAD$  Manejo - 40 mm  
Excesso aproveitado - 10 mm



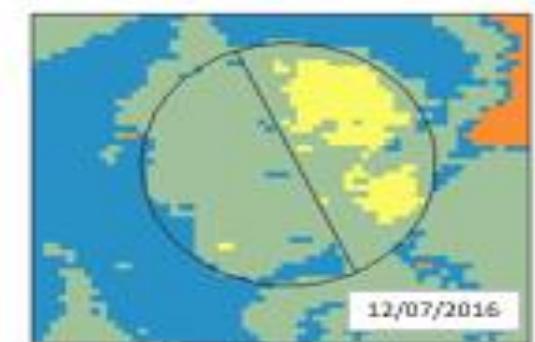
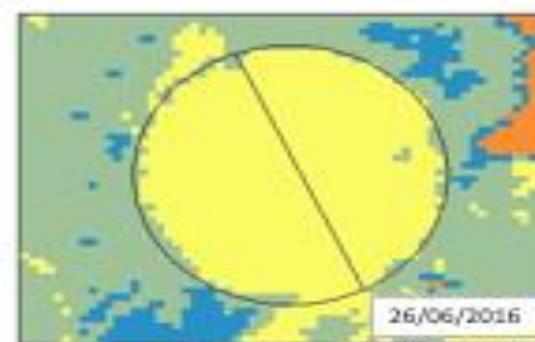
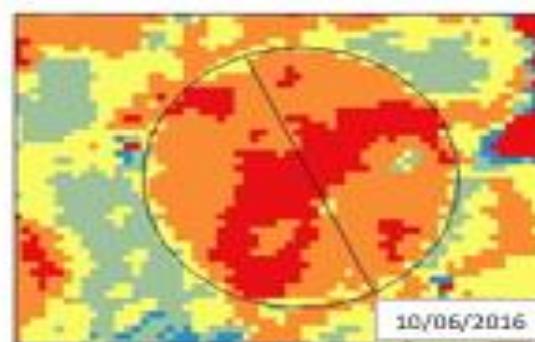
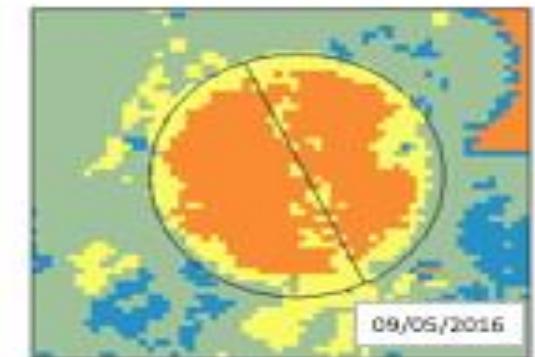
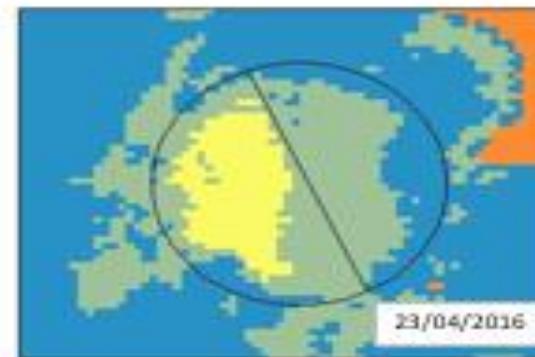
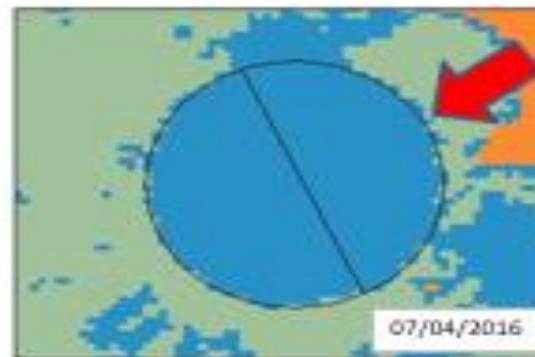
# RESULTADOS E DISCUSSÃO

1º Semestre – Pivô Central

0,89 | 0,12

25/03/2016  
30/07/2016

Valores próximos  
ao da literatura  
(TEIXEIRA ET AL.,  
2014)



Ciclo do Milho  
Valores de Kc  
SAFER  
LandSat8  
Lat: 496609  
Long: 7753176



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

1º Semestre – Pivô Central

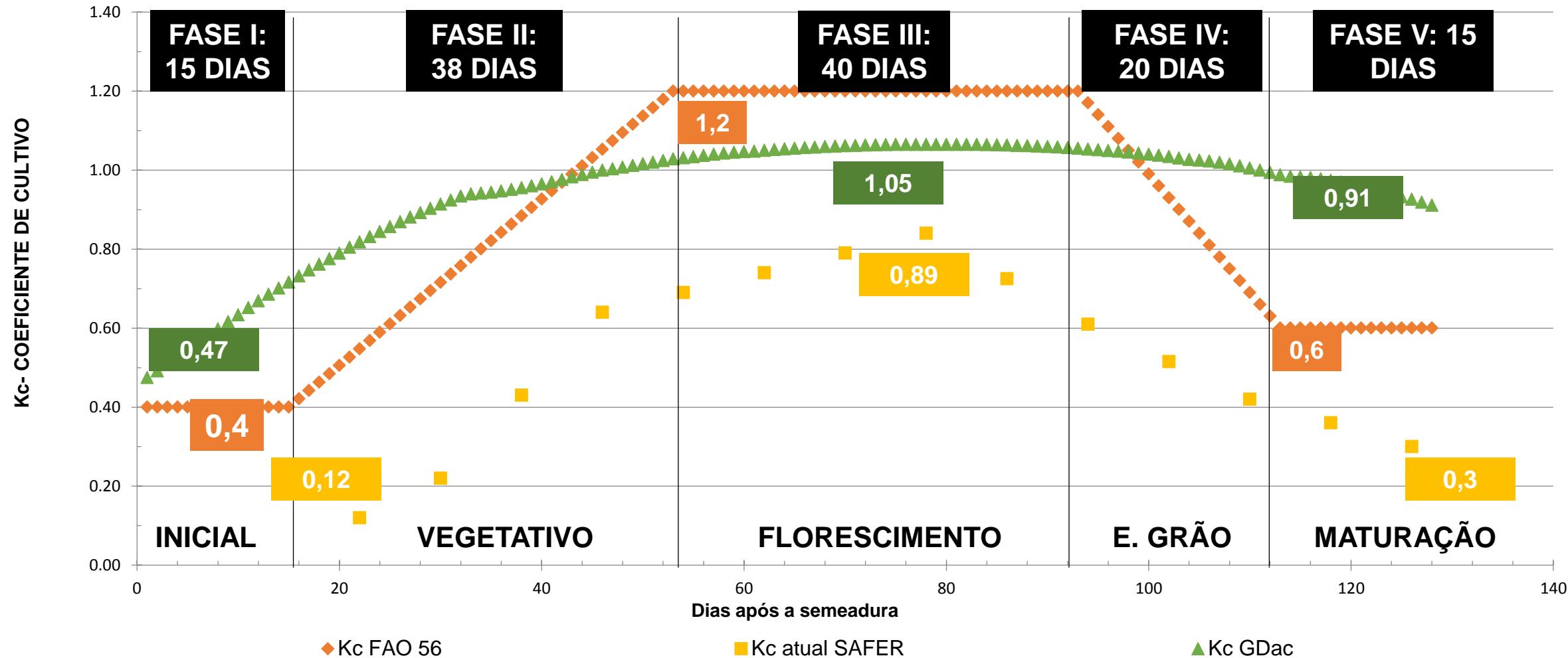
## GERENCIAMENTO DE DADOS - IMAGENS LANDSAT 8

Pivô	Ciclo	Imagens	Mês	Data	% de Nuvem
Humaitá	25 de março a 30 de julho de 2016	Landsat 8 (222/74)	Abril	07/04/2016	0%
			Abril	23/04/2016	6%
			Maio	09/05/2016	5%
			Maio	25/05/2016	17%
			Junho	10/06/2016	15%
			Junho	26/06/2016	1%
			Julho	12/07/2016	0%
			Julho	28/07/2016	1%

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

1º Semestre – Pivô Central

Coeficientes da cultura do milho irrigado obtidos pelos métodos FAO 56, GDac e algoritmo SAFER no primeiro semestre do ano de 2016.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

1º Semestre – Pivô Central

**DIFERENÇA DE VALORES FOI DEVIDO A ALGUM TIPO DE ESTRESSE NA CULTURA, TAIS COMO:**



Hídrica



Fitossanitária



Solo  
CAD



Nutrição



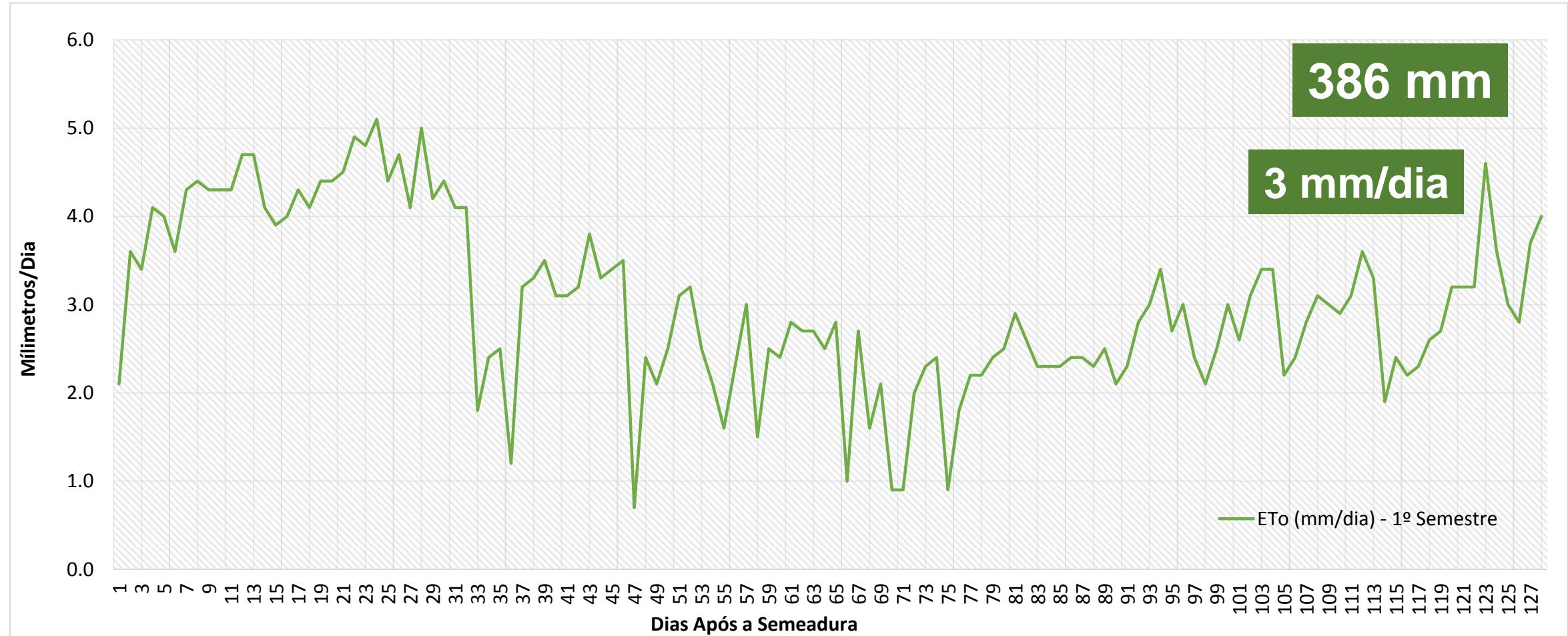
Ajustes na  
Modelagem



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 1º Semestre – Pivô Central

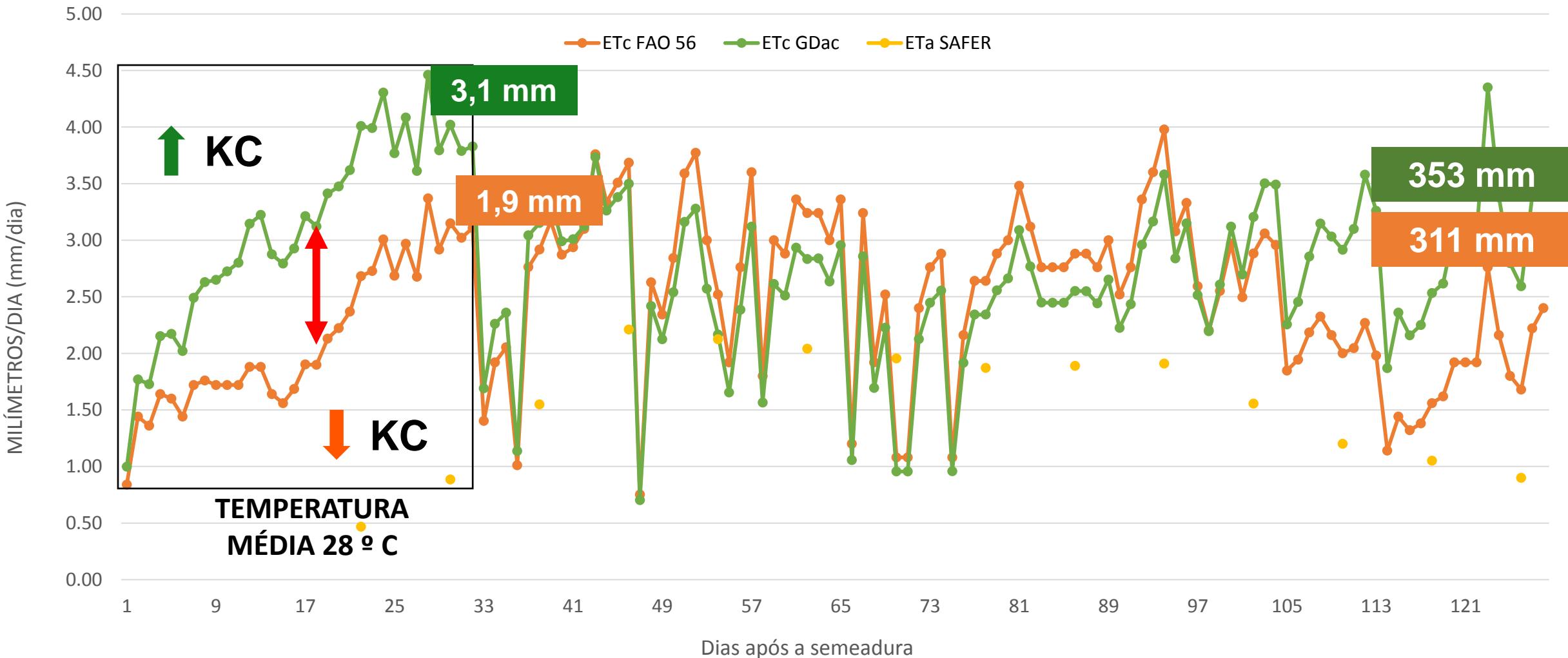
Comportamento da evapotranspiração de referência no primeiro ciclo da cultura.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 1º Semestre – Pivô Central

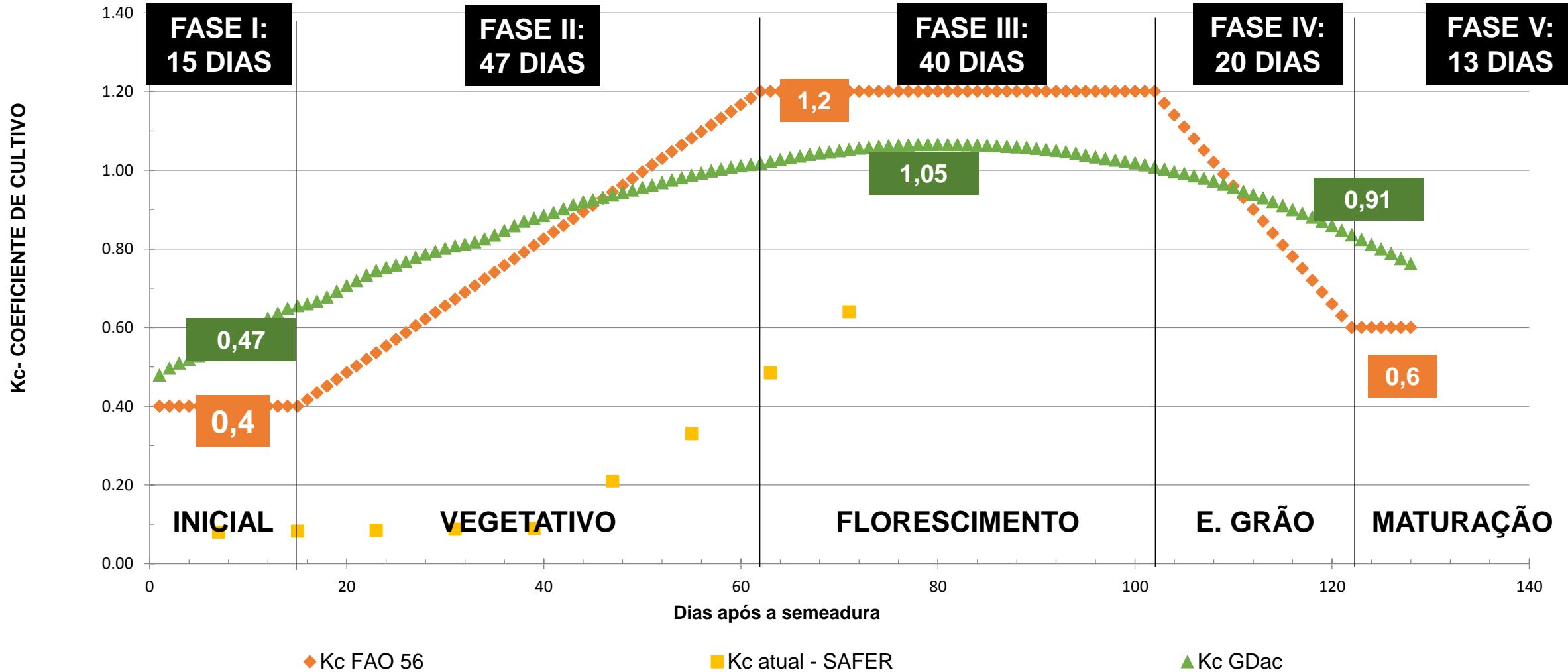
Evapotranspiração da cultura do milho irrigado obtidos pelos métodos FAO 56, GDac e algoritmo SAFER no primeiro semestre do ano de 2016.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

2º Semestre – Pivô Central

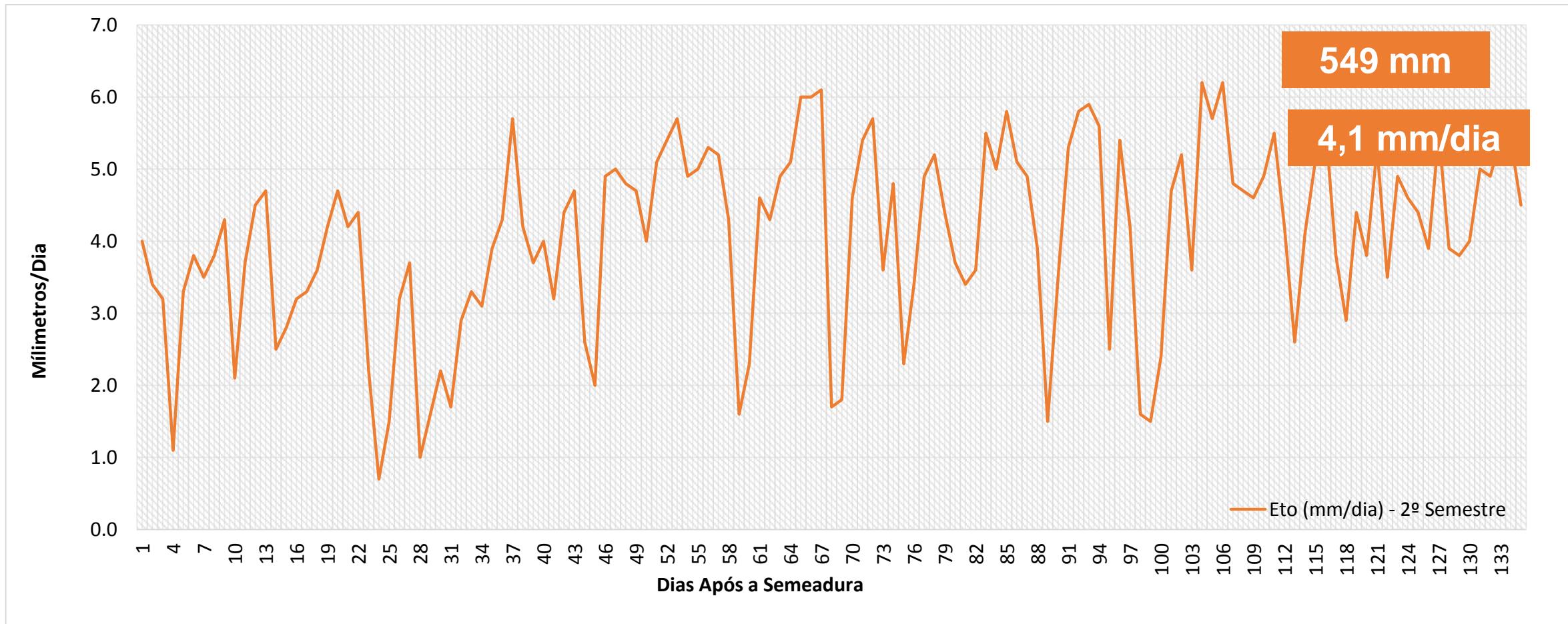
Coeficientes da cultura do milho irrigado obtidos pelos métodos FAO 56, GDac e algoritmo SAFER no segundo semestre do ano de 2016.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

2º Semestre – Pivô Central

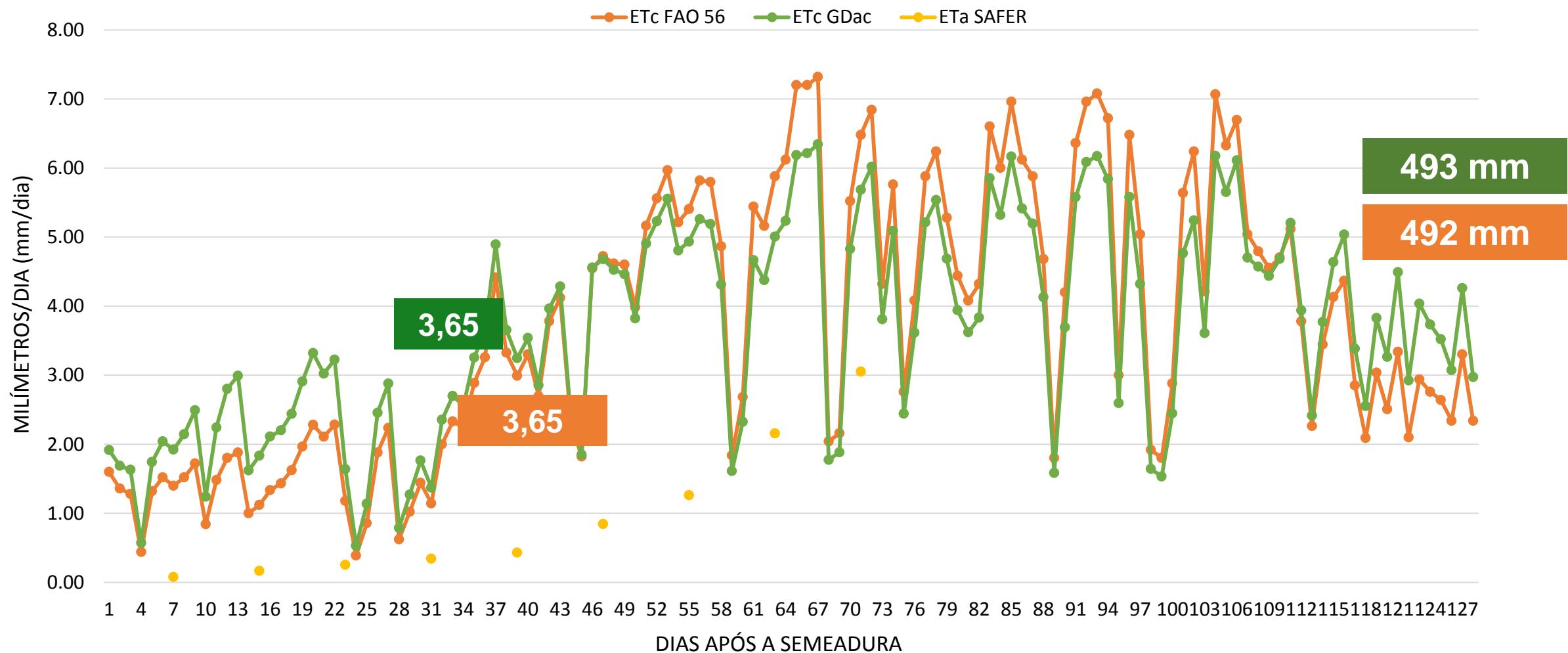
Comportamento da evapotranspiração de referência no segundo ciclo da cultura.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 2º Semestre – Pivô Central

**Coeficientes da cultura do milho irrigado obtidos pelos métodos FAO 56, GDac e algoritmo SAFER no segundo semestre do ano de 2016.**



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

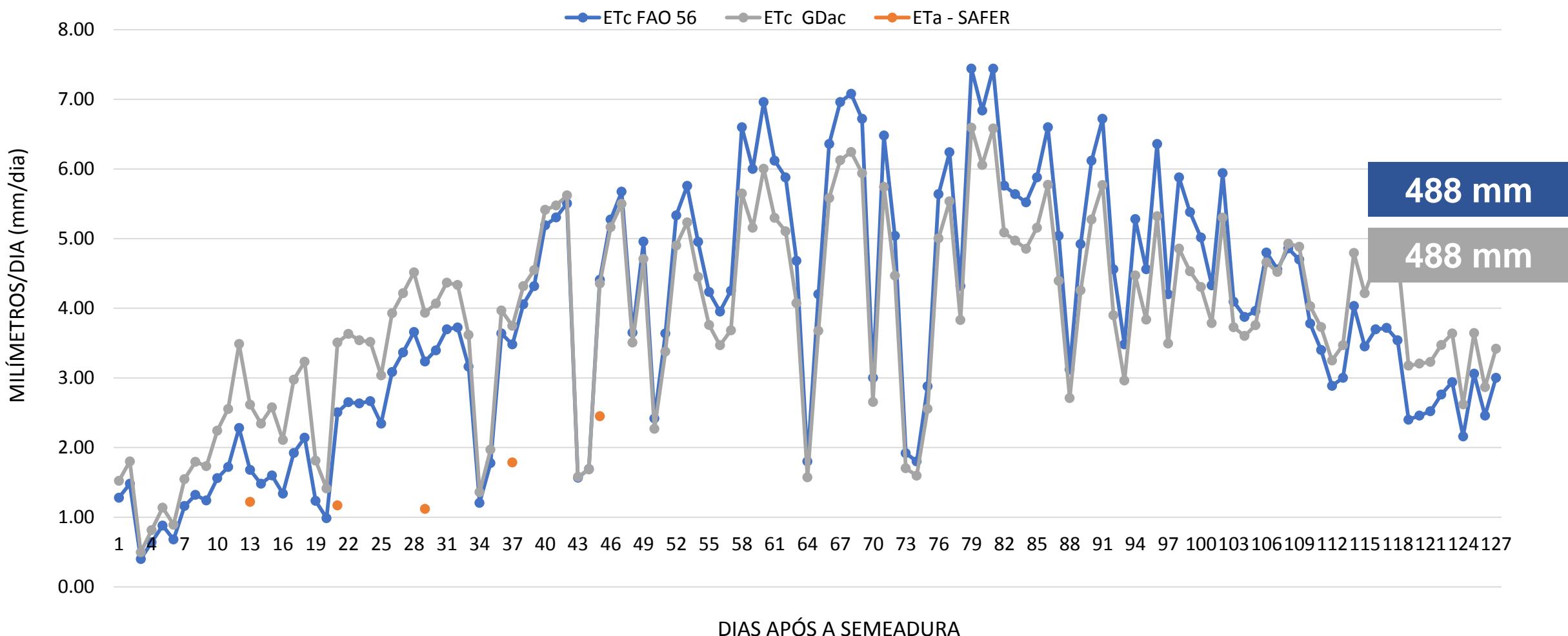
## EVAPOTRANPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E DA CULTURA DE CADA CICLO CULTIVADO

Ciclo	ET0 (mm)	ET0 Média (mm)	ETc FAO (mm)	ETc FAO Médio (mm)	ETc GDac (mm)	ETc GDac Médio (mm)	% ETc GDac/ ETc FAO
1º Semestre	385,50	3,01	310,69	2,43	353,07	2,76	14%
2º Semestre	548,80	4,07	491,77	3,64	492,65	3,65	0%
2º Semestre	545,60	4,30	488,19	3,84	488,20	3,84	0%

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

1º e 2º Semestre – Pivô Central

**Coeficientes da cultura do milho irrigado obtidos pelos métodos FAO 56, GDac e algoritmo SAFER no segundo semestre do ano de 2016, área irrigada pelo Autopropelido.**



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

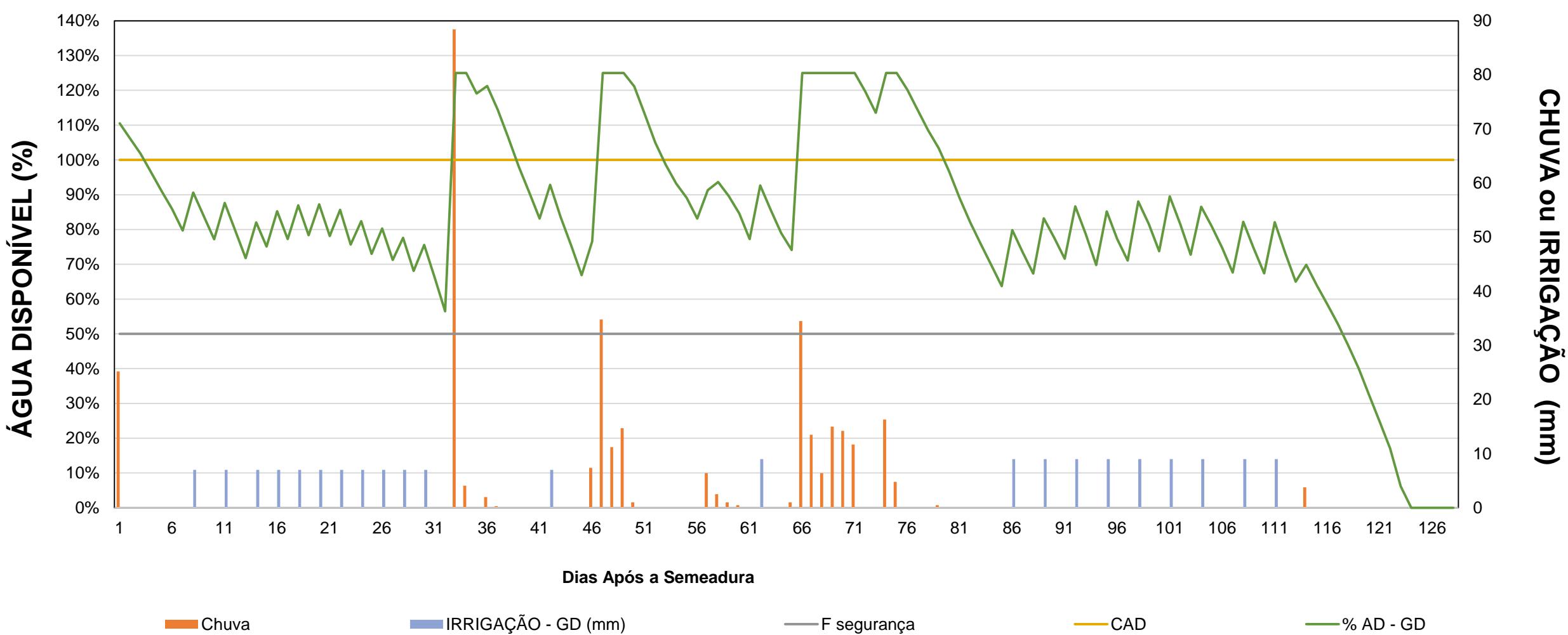
## QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA E IRRIGAÇÃO EM CADA CICLO PRODUTIVO

Ciclo	Chuva (mm)	Irrigação FAO (mm)	Irrigação GD (mm)	% Irrigação GD/Irrigação FAO	Água da chuva utilizada (Irrigação FAO)	% Água da Irrigação FAO requerida
1º Semestre 128 dias	321,2	155	174	112%	166,2	50%
2º Semestre 135 dias	426,6	295	269	91%	131,6	60%
2º Semestre 127 dias	374,3	237	255	108%	137,3	49%

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## Manejo Da Irrigação E Armazenamento De Água No Solo

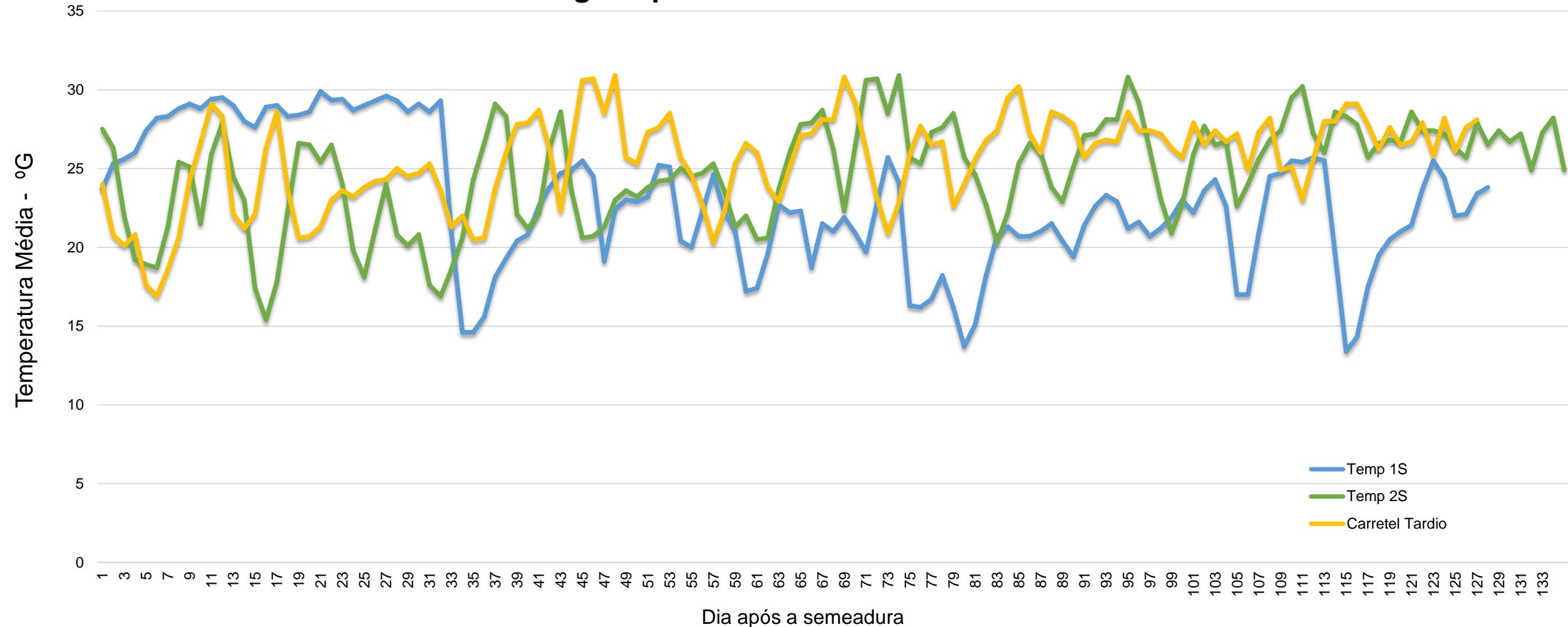
Manejo da irrigação e armazenamento de água no solo na cultura do Milho semeado em 25 de março de 2016  
utilizando coeficientes de cultura obtidos pelo método graus-dias.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## Manejo Da Irrigação E Armazenamento De Água No Solo

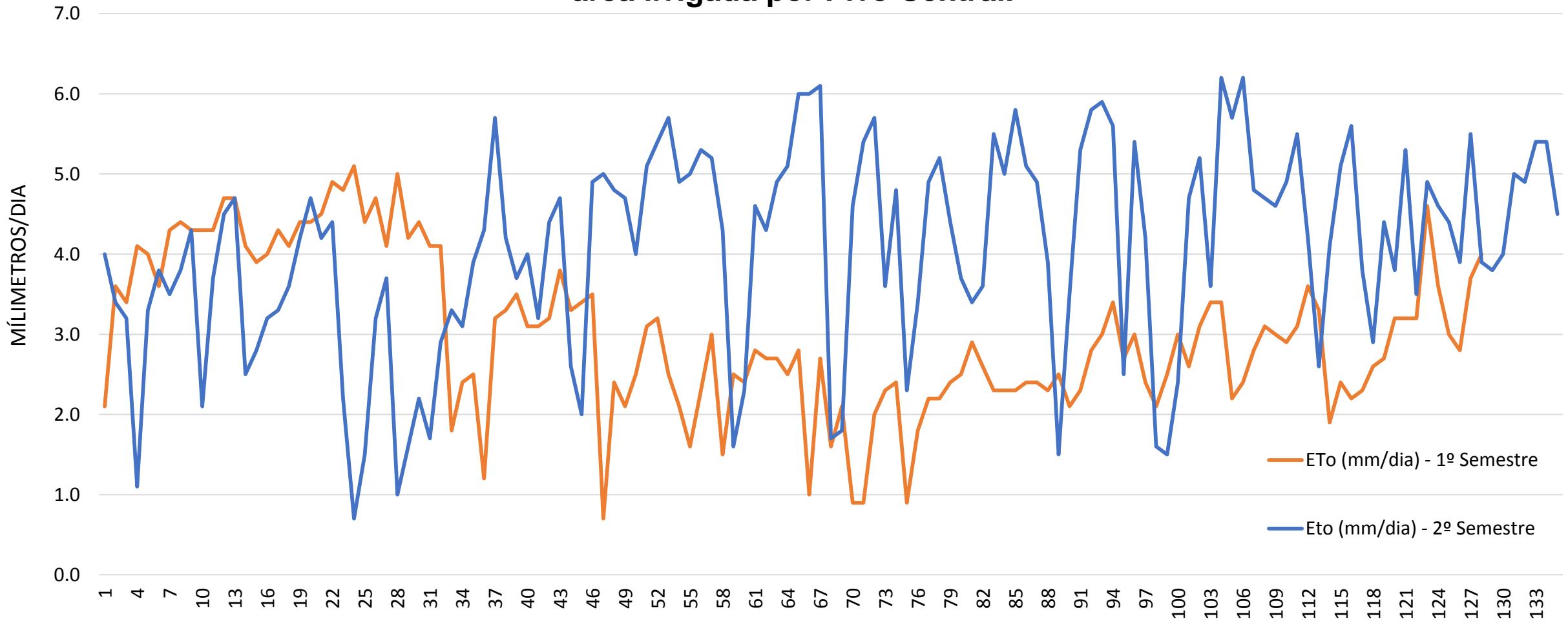
**Comparação da temperatura média diária no segundo e primeiro ciclo da cultura na área irrigada por Pivô Central e Carretel.**



# RESULTADOS E DISCUSSÃO

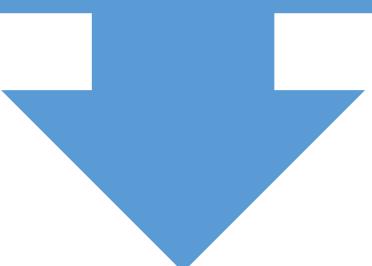
1º e 2º Semestre – Pivô Central

**Comparação da evapotranspiração de referência no segundo e primeiro ciclo da cultura na área irrigada por Pivô Central.**



# CONCLUSÕES

Diferentes valores nos resultados obtidos da evapotranspiração da cultura e a atual.



Diferentes Coeficientes de Cultura entre o método SAFER, os recomendados pela literatura e os calculados pelo método graus dias.

# CONCLUSÕES

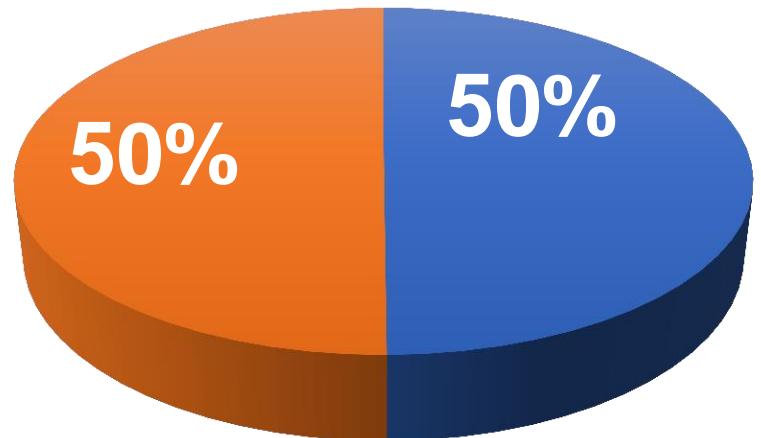
É necessário realizar esses tipos de estudos para o milho e outras culturas provenientes da região:



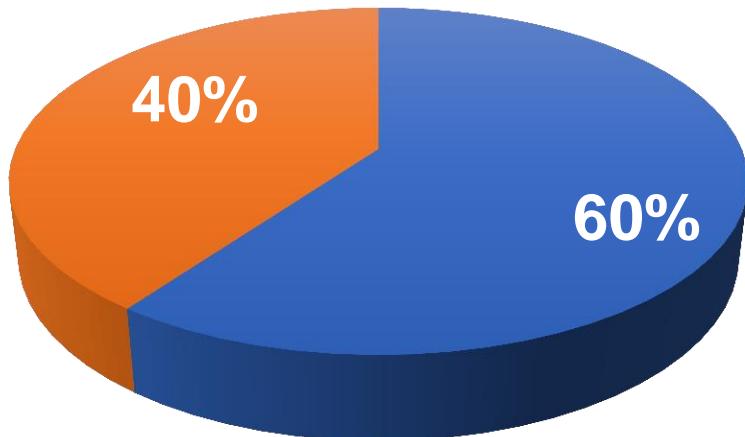
# CONCLUSÕES

O balanço hídrico realizado diariamente mostrou que é necessária a utilização de sistemas de irrigação no desenvolvimento da cultura de milho nos dois ciclos produtivos do ano.

**1º semestre**



**2º semestre**



# AGRADECIMENTOS

