

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

**Johan Assmann**

**SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL E DA  
NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DA SOJA EM  
VINTE ANOS AGRÍCOLAS**

Cachoeira do Sul, RS  
2023

**Johan Assmann**

**SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL E DA  
NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DA SOJA EM  
VINTE ANOS AGRÍCOLAS**

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

Orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Dra. Zanandra Boff de Oliveira

Cachoeira do Sul, RS  
2023

**Johan Assmann**

**SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL E DA  
NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DA SOJA EM  
VINTE ANOS AGRÍCOLAS**

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

**Aprovado em 12 de julho de 2023**

---

**Zanandra Boff de Oliveira, Dra. (UFSM)**  
Presidente/Orientadora

---

**Ezequiel Saretta, Dr. (UFSM)**

---

**Christiano de Carvalho Lamb, Me. (EET Nossa Senhora da Conceição)**

Cachoeira do Sul, RS  
2023

## EPÍGRAFE

*“Tudo é ousado para a quem nada se atreve.”*

*(Fernando Pessoa)*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram de forma significativa para a realização deste trabalho de conclusão de curso e toda jornada da graduação.

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha mãe Nara, que sempre esteve ao meu lado, me incentivando e oferecendo seu apoio incondicional durante toda a jornada acadêmica. Seu amor e dedicação foram fundamentais para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Também gostaria de agradecer ao meu pai Celio, cujo apoio e encorajamento constantes foram essenciais para meu desenvolvimento pessoal e acadêmico. Sua sabedoria e exemplo de perseverança sempre me inspiraram.

Agradeço também aos demais membros da minha família, que estiveram presentes em todos os momentos, me incentivando e proporcionando um ambiente de apoio e estímulo.

Agradeço aos meus professores, que compartilharam seu conhecimento e experiência, guiando-me no caminho do aprendizado. As orientações e feedbacks da professora Zanandra foi de inestimável valor para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Não posso deixar de mencionar meus amigos, que estiveram ao meu lado durante toda essa jornada. Suas palavras de encorajamento, apoio mútuo e momentos de descontração foram fundamentais para manter minha motivação em alta.

Por fim, expresso minha gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu sucesso neste percurso acadêmico. Seu apoio e incentivo foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigado a todos pelo constante apoio e por fazerem parte desta importante etapa da minha vida.

## RESUMO

# SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL E DA NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DA SOJA EM VINTE ANOS AGRÍCOLAS

AUTOR: Johan Assmann

ORIENTADORA: Zanandra Boff de Oliveira

Devido a importância da cultura da soja para o estado do Rio Grande do Sul e a variabilidade das chuvas ao longo dos anos agrícolas que impactam na redução da produtividade desta cultura, estudos que avaliem a necessidade da irrigação suplementar são importantes para a tomada de decisão de produtores e agentes públicos. Com isso, o presente estudo tem como objetivo realizar a simulação do balanço hídrico sequencial e da necessidade de irrigação para a cultura da soja em 20 anos agrícolas (2001 a 2022) na região edafoclimática de Cachoeira do Sul – RS. As simulações do balanço hídrico sequencial para a cultura da soja foram realizadas com o modelo CROPWAT 8.0. Realizou-se uma modelagem inicial a partir de dados observados durante a realização de experimento de campo com a cultura da soja no ano agrícola 2021/22, aonde foram coletados todos os dados de entrada necessários para a modelagem. Após, foram realizadas outras 20 simulações para todos os anos agrícolas entre 2001-2 e 2021-22 mantendo os parâmetros de modelagem no ano agrícola 2021-22 e alterando apenas as chuvas durante o ciclo da cultura. Do total, foram nove anos com chuvas acima da média dos dados demandando em média 129 mm de irrigação suplementar e onze anos com chuvas abaixo da média dos dados com uma demanda média de 205 mm de irrigação suplementar. A necessidade da irrigação suplementar é dependente da distribuição regular das chuvas ao longo do ciclo devido ao melhor aproveitamento da chuva efetiva.

Palavras-chave: *Glycine max*. Cropwat. Chuva efetiva. Evapotranspiração. Escoamento.

## ABSTRACT

### SEQUENTIAL WATER BALANCE SIMULATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR SOYBEAN CULTIVATION OVER TWENTY AGRICULTURAL YEARS

AUTHOR: Johan Assmann

ADVISOR: Zanandra Boff de Oliveira

Due to the importance of soybean cultivation for the state of Rio Grande do Sul and the variability of rainfall throughout the agricultural years, which impact the productivity of this crop, studies evaluating the need for supplemental irrigation are crucial for decision-making by farmers and public authorities. Therefore, the objective of this study is to simulate the sequential water balance and irrigation requirements for soybean cultivation over a period of 20 agricultural years (2001 to 2022) in the edaphoclimatic region of Cachoeira do Sul, RS. The sequential water balance simulations for soybean cultivation were conducted using the CROPWAT 8.0 model. An initial modeling was performed based on observed data during a field experiment with soybean cultivation in the 2021/22 agricultural year, where all the necessary input data for modeling were collected. Subsequently, 20 additional simulations were carried out for all agricultural years between 2001-2 and 2021-22, keeping the modeling parameters from the 2021-22 agricultural year and modifying only the rainfall during the crop cycle. Out of the total, there were nine years with above-average rainfall, requiring an average of 129 mm of supplemental irrigation, and eleven years with below-average rainfall, with an average demand of 205 mm of supplemental irrigation. The need for supplemental irrigation depends on the regular distribution of rainfall throughout the cycle to maximize the utilization of effective rainfall.

Keywords: *Glycine max.* Cropwat. Effective rainfall. Evapotranspiration. Runoff.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tela inicial do modelo CROPWAT. ....	14
Figura 2 – Tela do modelo CROPWAT com parâmetros de clima. ....	16
Figura 3 – Tela do modelo CROPWAT com parâmetros de cultura. ....	16
Figura 4 – Tela do modelo CROPWAT com parâmetros de solo. ....	17
Figura 5 – Parâmetros do balanço hídrico da cultura da soja (dados simulados x observados). .....	17
Figura 6 – Valores observados de chuvas e estimados de necessidade de irrigação para soja no período de vinte anos em Cachoeira do Sul-RS. ....	19
Figura 7 - Dados da Normal Climatológica (1961-1990). Cachoeira do Sul, RS. ....	19
Figura 8 – Valores observados de chuvas e estimados de escoamento superficial no período de vinte anos em Cachoeira do Sul-RS. ....	20
Figura 9 – Balanço hídrico sequencial da cultura da soja para os anos agrícolas 2002/03, 2009/10 e 2015/16. Cachoeira do Sul, RS. ....	23
Figura 10 – Balanço hídrico sequencial da cultura da soja para os anos agrícolas 2005/06, 2011/12 e 2017/18. Cachoeira do Sul, RS. ....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização da disponibilidade de água no solo para as diferentes camadas do perfil do solo.....	15
Tabela 2 – Datas de ocorrência das principais etapas do ciclo de desenvolvimento necessárias para a calendarização da necessidade da irrigação.....	15
Tabela 3 – Resultados de parâmetros do balanço hídrico para a cultura da soja nos anos agrícolas de 2001-02 (ano 1) a 2020-21 (ano 20).....	21
Tabela 4 – Resultados do número de irrigações por mês e total para o ciclo da cultura nos anos agrícolas de 2001-02 (ano 1) a 2020-21 (ano 20). .....	25

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4. CONCLUSÃO.....	27
5. REFERÊNCIAS.....	28

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda global por alimentos, a soja tornou-se um dos grãos mais cultivados em todo o mundo. Além disso, a ampla gama de aplicações da soja como matéria-prima para diversos produtos também contribuiu para a sua popularidade. A safra de soja mundial em 2021/22 alcançou cerca de 356 bilhões toneladas em uma área cultivada de 130.935 milhões de hectares (EMBRAPA, 2023). Como líder mundial em produção de soja, o Brasil contribuiu significativamente para essa produção, com a safra de soja de 125.552,3 mil toneladas colhidas em 41.452 mil ha. (CONAB, 2021).

O relatório da CONAB, safra agrícola de 2021/22 indica que, apesar dos desafios impostos pelo fenômeno La Niña, algumas regiões do país tiveram um bom desempenho na produção de grãos. Destaca-se a Região Centro-Oeste, que apresentou um crescimento de 2,1% na produção em relação à safra anterior, alcançando um total de 81.857,6 mil toneladas. A produtividade média nessa região foi de 4.084 kg ha<sup>-1</sup>, o que pode ser atribuído em parte ao avanço tecnológico na agricultura de precisão e ao uso de sementes mais resistentes a estresses hídricos (CONAB, 2021).

Por outro lado, é importante destacar que a Região Sul, São Paulo e Mato Grosso do Sul tiveram uma redução significativa na produtividade, devido à falta de chuvas em novembro e dezembro de 2021. Essa condição climática afetou a produção de grãos nessas regiões, resultando em uma produção total de 125.552,3 mil toneladas, que é 9,9% inferior à safra anterior. É fundamental que as empresas do setor agrícola se preparem para lidar com as variações climáticas e adotem práticas de manejo que visem à conservação do solo e à utilização eficiente dos recursos hídricos, a fim de garantir a sustentabilidade da produção agrícola em longo prazo (CONAB, 2021).

O estado do Rio Grande do Sul é afetado pelos fenômenos climáticos El Niño e La Niña, onde El Niño provoca uma irregularidade afetando positivamente a precipitação pluviométrica, já o fenômeno La Niña gera decréscimo das chuvas abaixo da normal climatológica, prolongando a falta de chuvas, especialmente nos meses de primavera e início do verão (FONTANA; BERLATO, 1996).

A disponibilidade de água é um fator essencial para que a cultura da soja apresente um desenvolvimento adequado e obtenha uma produtividade satisfatória. A necessidade hídrica varia de 450 a 800 mm durante todo o ciclo fenológico, dependendo das condições climáticas do local (DOORENBOS; KASSAN, 1994). Durante o ciclo da cultura da soja, é importante garantir que não haja déficit de água durante as fases críticas para um bom desenvolvimento e

produtividade da planta. Essas fases incluem o estabelecimento da cultura, pois a germinação das sementes é essencial para ter a quantidade ideal de plantas, e também durante o enchimento dos grãos até sua maturação, de forma progressiva (KASSAN, 1994; COSTA, 2010).

De acordo com o Atlas da Irrigação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em 2019 o Brasil possui uma área de irrigação de 8,2 milhões de hectares irrigados, sendo a área do Rio Grande do Sul 1,1 milhões de hectares. A tecnologia de suplementação hídrica é utilizada em várias culturas como forma de complementar as necessidades de água das plantas. No entanto, na maioria das áreas cultivadas com soja, o sistema de produção utilizado é o de sequeiro, ou seja, sem irrigação (SENTELHAS et al., 2015).

Os efeitos do déficit de água na fisiologia da planta variam de acordo com a intensidade, duração, frequência e interação com os componentes presentes no solo, tais como a fertilidade e acidez. Essa escassez hídrica prejudica os processos de fotossíntese, respiratórios, transporte de nutrientes na planta e assim, afetando negativamente o desenvolvimento da planta e a produção (CUNHA et al., 2001). É possível obter um aumento médio de produtividade em torno de 37% por meio da irrigação suplementar, podendo atingir produtividade superior a 6.000 kg ha<sup>-1</sup> na região de Cachoeira do Sul aonde foi realizado este estudo (OLIVEIRA et al., 2021).

Para atender a produção de alimentos para suprir a demanda mundial de forma sustentável, já que a agricultura é responsável pela maior parte do consumo hídrico, é necessário o conhecimento sobre o consumo de água das plantas, obtido através da evapotranspiração, é uma importante informação no manejo e dimensionamento dos sistemas irrigados. A determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) são essenciais para a estimativa do consumo de água das plantas, auxiliando na programação de irrigação, gerenciamento de situações de seca e na investigação de alterações climáticas (RAZIEI; PEREIRA, 2013).

O boletim FAO 56 representou um grande avanço no que diz respeito aos conceitos e métodos para estimar a evapotranspiração (ET) (ALLEN et al., 1998). No referido documento, estabeleceu-se o método Penman-Monteith como o padrão para estimar a ET<sub>o</sub>, e após sua parametrização, passou a ser conhecido como Penman-Monteith FAO (FAO-PM). A decomposição da equação FAO-PM em dois termos é possível: um termo radiativo e um termo aerodinâmico. Para a sua estimativa são necessários dados meteorológicos de radiação solar (R<sub>s</sub>), temperatura do ar (T<sub>ar</sub>), umidade relativa do ar (RH) e velocidade do vento (U<sub>2</sub>). Nesse método, é utilizada uma cultura hipotética como referência. Os parâmetros numéricos para a

cultura hipotética utilizada como referência incluem altura de 0,12 m, albedo de 0,23 e resistência da cultura ao transporte de vapor d'água ( $r_s$ ) de  $70 \text{ s m}^{-1}$  (ALLEN et al., 1998).

O boletim FAO 56 também abordou a atualização do coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que serve como um fator de correção para levar em conta as diferenças físicas e fisiológicas entre a cultura em estudo e a cultura de referência. Segundo Pereira et al. (2014), a publicação do boletim FAO 56 representou um grande avanço na aplicação das curvas de  $K_c$  para uma ampla variedade de climas e locais, tornando-se uma referência para a comunidade científica e profissionais envolvidos com o manejo de irrigação. O balanço hídrico é um método contábil de estimativa da disponibilidade de água no solo e baseia-se na aplicação do princípio de conservação de massa (PEREIRA et al., 1997). Permite observar a dinâmica de água no solo a partir do armazenamento, deficiência e excessos hídricos (CAMARGO; CAMARGO, 2000). De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), os principais componentes do balanço hídrico para definir a demanda e disponibilidade hídrica é a precipitação ( $P$ ), evapotranspiração real (ETR), evapotranspiração potencial (ETP), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC).

Os modelos de simulação de balanço hídrico são ferramentas essenciais para o planejamento de reservatórios e sistemas de irrigação, permitindo avaliar a disponibilidade hídrica, a demanda de água e a eficiência dos sistemas de manejo. O uso desses modelos pode ajudar a maximizar a eficiência do uso da água, prevenir a escassez de recursos hídricos e minimizar os impactos ambientais. Esses modelos são fundamentais para garantir a segurança hídrica, a produção agrícola sustentável e a preservação do meio ambiente (ARAÚJO et al., 2016). O modelo CROPWAT (FAO) utiliza as informações e metodologia de cálculo é baseado no boletim FAO 56 e no boletim FAO 33 em uma interface gráfica, com certa facilidade de manusear, contribuindo para o manejo da irrigação.

Com isso, o presente estudo busca por meio da utilização do modelo CROPWAT compreender a demanda hídrica da soja e aprimorar o planejamento da irrigação na região de estudo. Essa dinâmica de demanda hídrica é variável em anos mais secos e anos mais úmidos, sendo fundamental sua compreensão para o planejamento de reservatórios, sistemas de irrigação e gestão dos recursos hídricos. Além disso, a investigação da relação entre a disponibilidade de água no solo e a irrigação necessária permite o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis. Assim, o presente estudo tem como objetivo realizar a simulação do balanço hídrico sequencial e da necessidade de irrigação para a cultura da soja em vinte anos agrícolas (2001 a 2022) na região edafoclimática de Cachoeira do Sul – RS.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As simulações do balanço hídrico sequencial para a cultura da soja foram realizadas com o software CROPWAT 8.0 (FAO). O mesmo realiza o balanço hídrico e a recomendação da necessidade da irrigação a partir de parâmetros de entrada relacionados ao clima (ET<sub>o</sub> e chuvas), a cultura (estádio de desenvolvimento e profundidade de sistema radicular), ao solo (capacidade de água disponível e esgotamento de água no solo no dia da semeadura) e ao sistema e manejo da irrigação (nível de esgotamento da água no solo e lâmina de irrigação), sendo a sua interface demonstrada na figura 1.

Figura 1 – Tela inicial do modelo CROPWAT.



Fonte: CROPWAT, 2023.

A modelagem inicial foi realizada a partir de dados observados durante a realização de experimento de campo com a cultura da soja no ano agrícola 2021/22. O local da coleta de dados de solo e da cultura foi na Estação Experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), localizada no distrito de Três Vendas no município de Cachoeira do Sul (29°53' S e 53° 00' W, altitude de 125 m), na depressão central do estado. O clima, segundo Köppen, é definido como subtropical úmido (Cfa), predominante na região Sul. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013). A cultivar analisada foi a BMX Garra IPRO (Grupo de maturidade relativa 6.3).

O sistema de irrigação foi o de aspersão convencional (aspersores Agropolo NY 25), instalados com espaçamento de 12x12 m, com lâmina fixa de irrigação de 15 mm, aplicadas sempre que o esgotamento da capacidade de água disponível no solo (CAD) fosse de 40%.

Na tabela 1 estão apresentados os valores de umidade volumétrica do solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) que resultam na capacidade de água disponível do solo (CAD) para cada camada avaliada de 0-60 cm do perfil do solo.

Tabela 1 – Caracterização da disponibilidade de água no solo para as diferentes camadas do perfil do solo.

<b>Dados de solo</b>			
Camada do perfil (cm)	$\theta_{CC}$	$\theta_{PMP}$	CAD (mm)
00-20	0,284	0,13	30,8
20-40	0,314	0,15	32,8
40-60	0,357	0,17	37,4

Onde:  $\theta_{CC}$ : umidade volumétrica na capacidade de campo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ );  $\theta_{PMP}$  umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ );  $CAD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times$  profundidade da camada (mm).

Fonte: Autor, 2023.

O monitoramento da disponibilidade água no solo, denominada de CAD atual foi realizado a partir determinação do conteúdo volumétrico de água utilizando um conjunto FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific), cujos sensores foram instalados nas camadas de 0 a 30 cm e de 30 a 60 cm na área irrigada e na área de sequeiro.

A  $E_{To}$  foi estimada pelo método FAO – PM a partir da estação meteorológica automática instalada na UFSM Cachoeira do Sul, cerca de 15 km do local do experimento. Os dados de chuva foram obtidos de um pluviômetro instalado na área experimental. Utilizou-se o  $K_c$  simples para o cálculo da  $E_{Tc}$ , com os seguintes valores: 0,15 (inicial), 1,15 (médio) e 0,3 (final).

Para o ajuste da curva do  $K_c$ , utilizou-se a metodologia proposta por Allen et al. (1998) com a fração de cobertura do dossel ( $F_c$ ). A tabela 2 apresenta as datas de ocorrência e o percentual de fechamento do dossel utilizados para o ajuste da curva de  $K_c$  a campo e para o uso no CROPWAT. Durante o ciclo de desenvolvimento da soja foram realizadas avaliações fenológicas e a determinação da profundidade máxima de exploração do sistema radicular que foi de 60 cm de profundidade, determinada por meio de trincheira quando a cultura estava em estágio de R2 (plena floração).

Tabela 2 – Datas de ocorrência das principais etapas do ciclo de desenvolvimento necessárias para a calendarização da necessidade da irrigação.

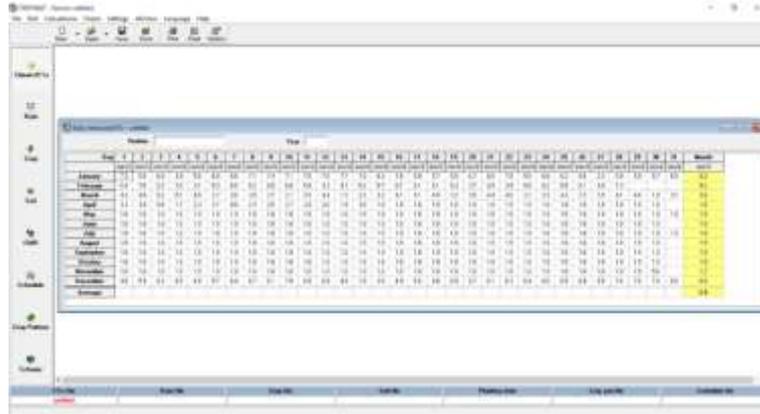
<b>Etapa</b>	<b>Data</b>
Semeadura	30/11/2021
10% do fechamento da entrelinha de cultivo	15/12/2021
100% do fechamento da entrelinha de cultivo	12/01/2022
Início da senescência	15/03/2022
Colheita	14/04/2022

Fonte: Autor, 2023.

Os parâmetros relatados serviram como dados de entrada ao modelo CROPWAT, sendo informado ao modelo os seguintes parâmetros de entrada:

1 - Clima: ETo (estimada pelo método FAO – PM); chuva obtida no local do experimento. A opção para a estimativa da chuva efetiva foi a proposta pelo Soil Conservation – USDA (Figura 2)

Figura 2 – Tela do modelo CROPWAT com parâmetros de clima.



Fonte: CROPWAT, 2023.

2- Cultura: profundidade mínima e máxima do sistema radicular, fixada em 10 e 60 cm, respectivamente; altura máxima da cultura de 100 cm (Figura 3); depleção crítica (fixada 40 mm e lâmina fixa de 15 mm); duração dos subperíodos de desenvolvimento da cultura conforme tabela 2.

Figura 3 – Tela do modelo CROPWAT com parâmetros de cultura

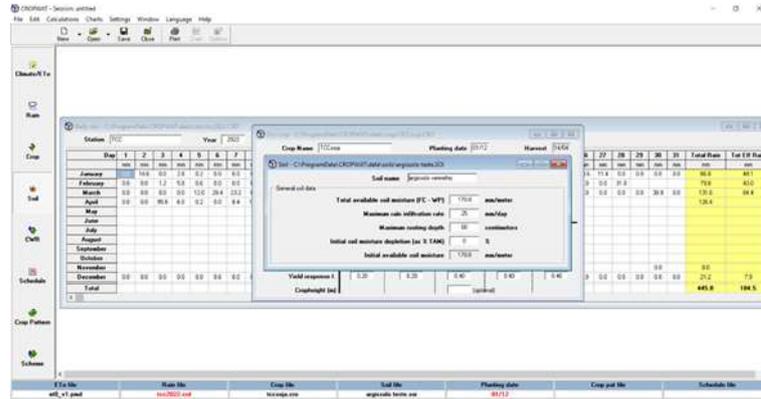


Fonte: CROPWAT, 2023.

3- Solo: total de água disponível entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (Tabela 1) – 168 mm/m; máxima profundidade do sistema radicular de 60

cm (determinada em R2); e depleção inicial de 0 mm– determinada no dia da semeadura (Figura 4).

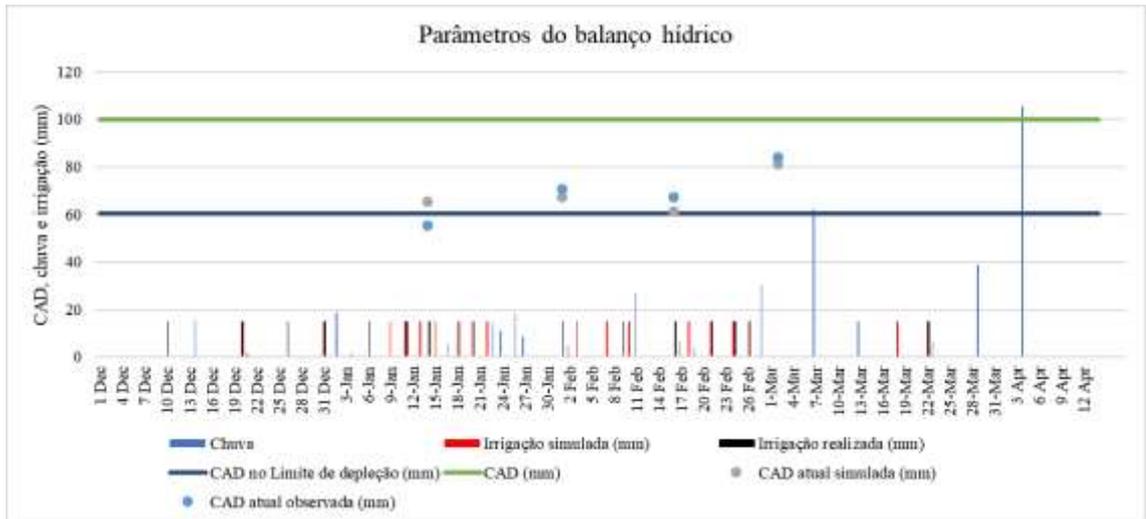
Figura 4 – Tela do modelo CROPWAT com parâmetros de solo.



Fonte: CROPWAT, 2023.

O software foi rodado para as mesmas condições que o trabalho de campo foi realizado e observou-se parâmetros simulados bem próximos ao estimados para a CAD e número e datas de irrigações (Figura 5).

Figura 5 – Parâmetros do balanço hídrico da cultura da soja (dados simulados x observados).



Fonte: Autor, 2023.

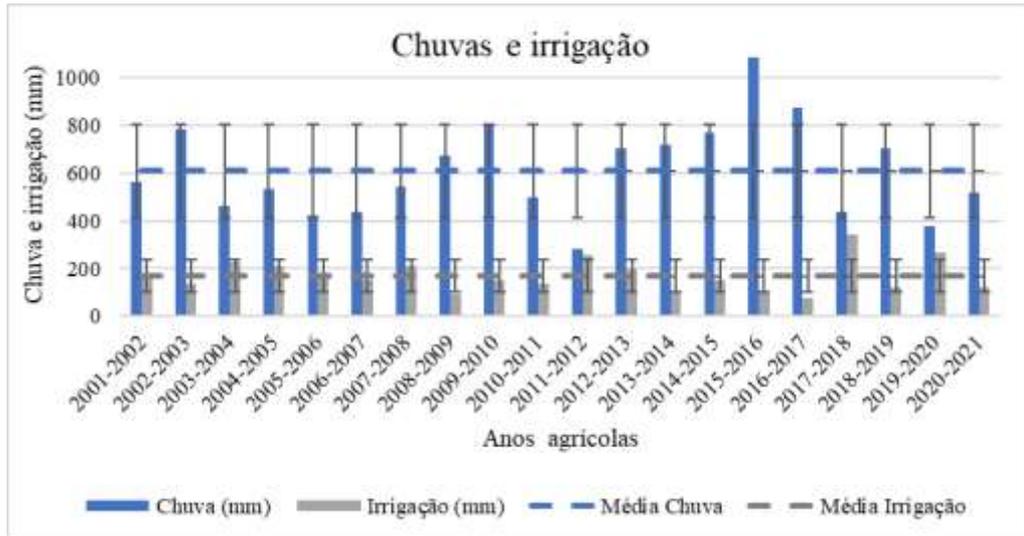
Após está simulação inicial foram realizadas outras 20 simulações para todos os anos agrícolas entre 2001-2 e 2021-22, mantendo os parâmetros de modelagem no ano agrícola 2021-22 e alterando apenas as chuvas durante o ciclo da cultura. Os dados de chuva foram obtidos em série histórica de um produtor rural na localidade do Bosque Cachoeira do Sul, situada cerca

de 10 km do local do experimento (2001-2016), de dados coletadas no próprio local de experimento e de dados da estação metrológica da UFSM – CS (2017 a 2022).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 6 apresenta os dados das chuvas observadas e das irrigações simuladas para os anos agrícolas de 2001-2002 a 2020-2021.

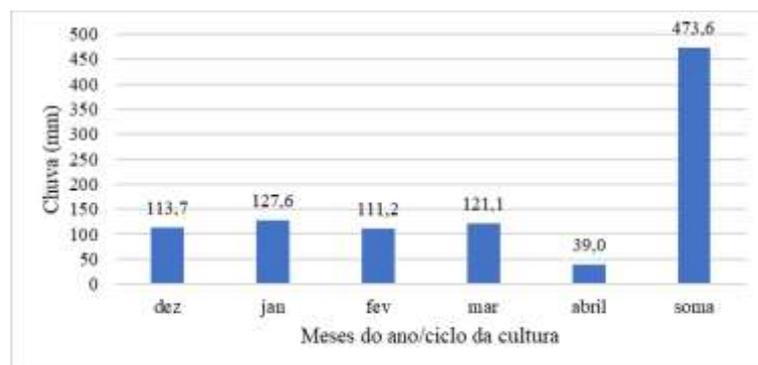
Figura 6 – Valores observados de chuvas e estimados de necessidade de irrigação para soja no período de vinte anos em Cachoeira do Sul-RS.



Fonte: Autor, 2023.

As chuvas totais anuais ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja para estes vinte anos agrícolas variaram entre 284 e 1084 mm, sendo a média dos valores de 610 mm. Os valores médios de chuva dos dados observados são superiores ao da normal climatológica para Cachoeira do Sul (Figura 7). Foram nove anos com chuvas acima da média dos dados (Figura 6), sendo destes cinco anos consecutivos entre 2012-13 e 2016-17 e, onze anos com chuvas abaixo da média, sendo destes cinco anos consecutivos entre 2003-04 e 2007-08.

Figura 7 - Dados da Normal Climatológica (1961-1990) para o ciclo da cultura. Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: INMET, 2023.

A variação na lâmina de irrigação necessária para suplementar as chuvas foi entre 75 e 345 mm, em função da quantidade e distribuição das chuvas (Figura 6). Farias; Neumaier; Nepomuceno (2017), analisando dados metrológicos de 1976 a 2008, para o RS, verificaram que apesar da quantidade total de chuvas durante todo o ciclo de desenvolvimento da soja ter atingido valores próximos a 700 mm, os rendimentos alcançados não foram tão altos em função da má distribuição da precipitação, principalmente durante a fase mais crítica (período reprodutivo), limitando a obtenção de elevados rendimentos de grão.

A figura 8 mostra que de um modo geral, anos com mais chuvas acumuladas tiveram maior perda por escoamento superficial, e por consequência, menor chuva efetiva. Contudo, para determinar a necessidade de recomendação da lâmina de irrigação, a distribuição das chuvas ao longo do ciclo é mais relevante do que a quantidade total acumulada. Segundo Andrade (2001), para tomar decisões relacionadas à irrigação, é fundamental considerar os fatores climáticos, como a quantidade e a distribuição da chuva, a fim de garantir o uso eficiente dos recursos hídricos, não ocorrendo perdas de água da irrigação, apenas pode ocorrer perda da água da chuva.

Figura 8 – Valores observados de chuvas e estimados de escoamento superficial no período de vinte anos em Cachoeira do Sul-RS.



Fonte: Autor, 2023.

Em todos os anos em que houve precipitação abaixo da média, observou-se um escoamento também abaixo da média; o oposto também é verdadeiro, com exceção do ano (2013-2014) que ocorreu chuva acima da média e escoamento abaixo, e o ano (2017-2018)

onde a chuva foi abaixo da média e o escoamento acima (Figura 8 e Tabela 3). Entretanto, anos agrícolas com mais chuvas acumuladas não necessariamente precisam de menos irrigação (Tabela 3), isso ocorre em função de muitas vezes os eventos de chuvas serem concentrados, assim excede a capacidade de armazenamento de água no solo e perde-se mais água por escoamento superficial ou drenagem, tornando-se uma chuva não útil ao balanço hídrico da cultura. A exemplo, a comparação entre dois anos secos (2005-06 e 2006-07) e dois anos úmidos (2013-14 e 2014-15) que apresentaram similaridade de chuvas acumuladas e valores distintos de escoamento superficial e lâmina de irrigações suplementar (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados de parâmetros do balanço hídrico para a cultura da soja nos anos agrícolas de 2001-02 (ano 1) a 2020-21 (ano 20).

<b>Ano agrícola</b>	<b>Chuva (mm)</b>	<b>Escoamento superficial(mm)</b>	<b>Irrigação (mm)</b>	<b>ETc (mm)</b>	<b>Déficit médio (mm)</b>
2001-2002	564,0	92,0	165,0	512,6	29,8
2002-2003	784,0	299,7	135,0	516,7	26,5
2003-2004	464,0	164,4	225,0	496,5	37,4
2004-2005	533,0	136,7	210,0	501,6	34,7
2005-2006	425,0	66,4	180,0	511,0	35,0
2006-2007	436,0	22,7	150,0	513,8	30,0
2007-2008	542,0	92,0	210,0	508,2	33,7
2008-2009	674,0	194,5	90,0	535,9	29,8
2009-2010	801,0	219,5	150,0	520,9	35,5
2010-2011	499,0	71,4	135,0	514,8	32,2
2011-2012	284,0	30,8	255,0	481,3	39,6
2012-2013	705,0	287,8	195,0	516,5	28,6
2013-2014	717,0	133,3	105,0	527,8	27,9
2014-2015	772,0	308,8	150,0	526,4	30,0
2015-2016	1084,0	453,5	105,0	529,6	25,7
2016-2017	876,0	338,9	75,0	540,6	26,4
2017-2018	440,2	203,7	345,0	562,8	20,7
2018-2019	706,6	255,5	120,0	562,6	17,4
2019-2020	380,4	170,7	270,0	483,4	39,6
2020-2021	516,4	103,5	120,0	517,4	29,9

Fonte: Autor, 2023.

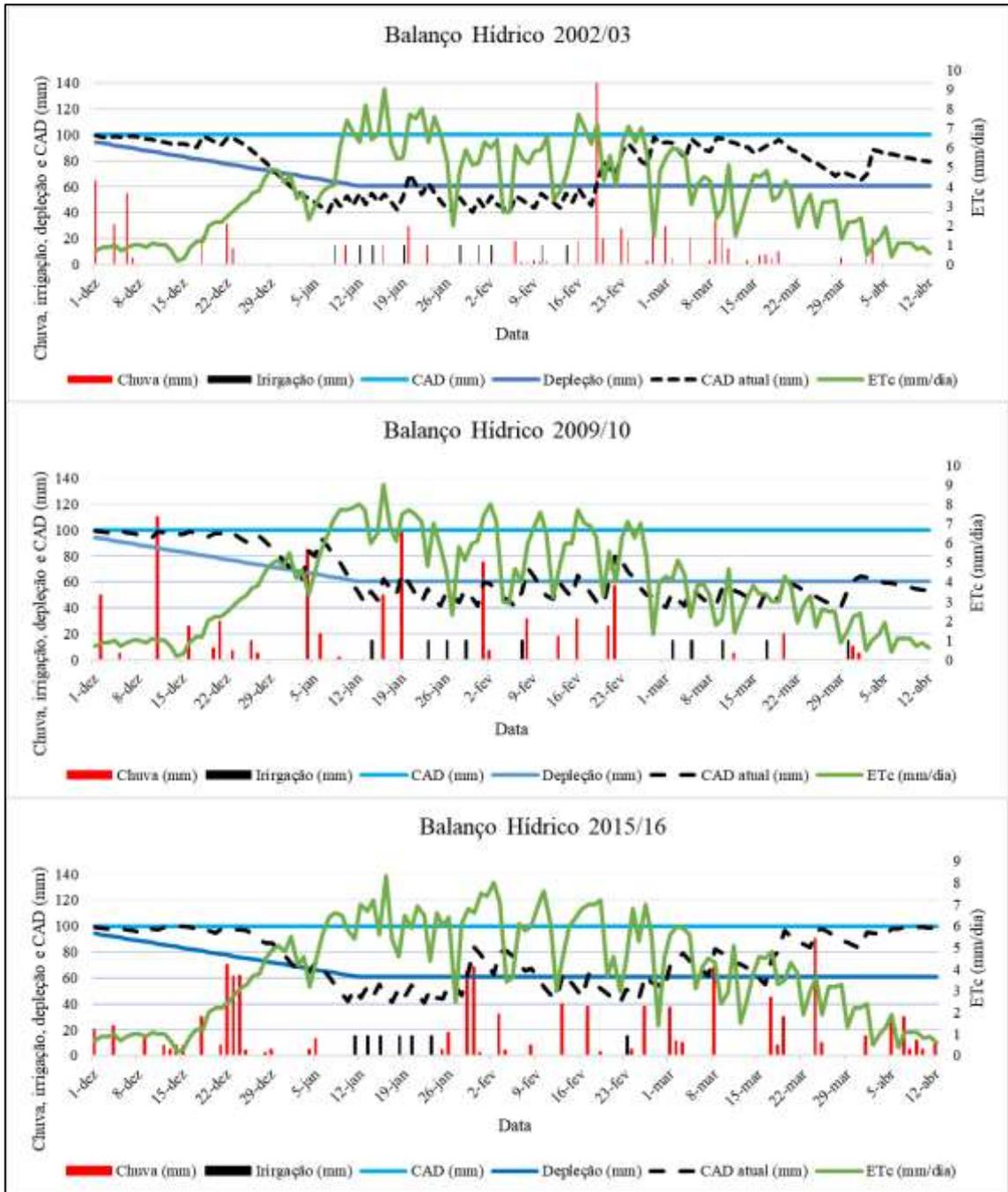
A variação nos valores de ETc acumulados durante o ciclo para os diferentes anos agrícolas (Tabela 3) são atribuídas ao fato de o modelo utilizar o coeficiente de estresse ( $K_s$ ) para a redução do  $K_c$  na medida que ocorre a redução da CAD. Segundo Allen et al. (1998), em condições de estresse hídrico, tem-se  $K_s < 1$ , quando há redução de disponibilidade de água no solo; do contrário, quando não há efeito do estresse hídrico na transpiração dos cultivos,  $K_s$

= 1. Assim, este parâmetro tem atuação direta no  $K_c$  da cultura e impacta na  $ET_c$ , fazendo com que em anos úmidos a  $ET_c$  seja superior. Tal condição, pode ser evidenciada pelo déficit médio no armazenamento de água no solo (mm) ao longo do ciclo para os diferentes anos agrícolas, que também é variável, sendo este maior em anos mais secos e menor em anos mais úmidos. Embora, tenha sido estabelecido um valor fixo de esgotamento de água no solo para a modelagem da necessidade da irrigação, isto pode estar atrelado a distribuição das chuvas ao longo do ciclo. Pois, em condições de chuvas mais espaçadas o déficit vai até próximo a condição de esgotamento fixado. Já, quando os eventos de chuvas são mais próximos, o suprimento hídrico é retomado à condição ideal e o déficit é reduzido.

Assim, as figuras 9 e 10 apresentam o balanço hídrico sequencial para três anos úmidos (chuvas acima da média dos dados) e três anos secos (chuvas abaixo da média dos dados), respectivamente, para a melhor compreensão dos parâmetros de balanço hídrico. As chuvas acumuladas foram de 784, 801 e 1084 mm para os anos agrícolas 2002-2003, 2009-2010 e 2015-2016, respectivamente, com uma boa distribuição das chuvas ao longo do ciclo. Ainda assim, nota-se eventos concentrados de chuvas que geram escoamento superficial (Tabela 3) e períodos com vários dias consecutivos sem chuvas.

No caso do ano agrícola 2002-03 (Figura 9) foram 18 dias consecutivos sem chuvas na fase de rápido crescimento das plantas e 13 dias na fase reprodutiva (quando a  $ET_c$  é máxima), demandando 9 irrigações suplementares para manter o armazenamento de água no solo em níveis desejáveis. No ano agrícola 2009-10, também teve um intervalo entre chuvas no período reprodutivo por duas vezes, uma vez 13 dias sem chuvas (em janeiro) e outra vez por 18 dias (em março), período crítico ao déficit hídrico, com impacto direto aos componentes de produtividade. Assim, a irrigação suplementar é de fundamental importância para a manutenção da produtividade. No agrícola 2015-16, o mais chuvoso da série de dados, ocorreu a necessidade de 7 irrigações suplementares concentradas no período que compreendeu duas fases do ciclo, a rápido crescimento da cultura e desenvolvimento médio, quando ficou 20 consecutivos dias sem chover (Figura 9).

Figura 9 – Balanço hídrico sequencial da cultura da soja para os anos agrícolas 2002/03, 2009/10 e 2015/16. Cachoeira do Sul, RS.

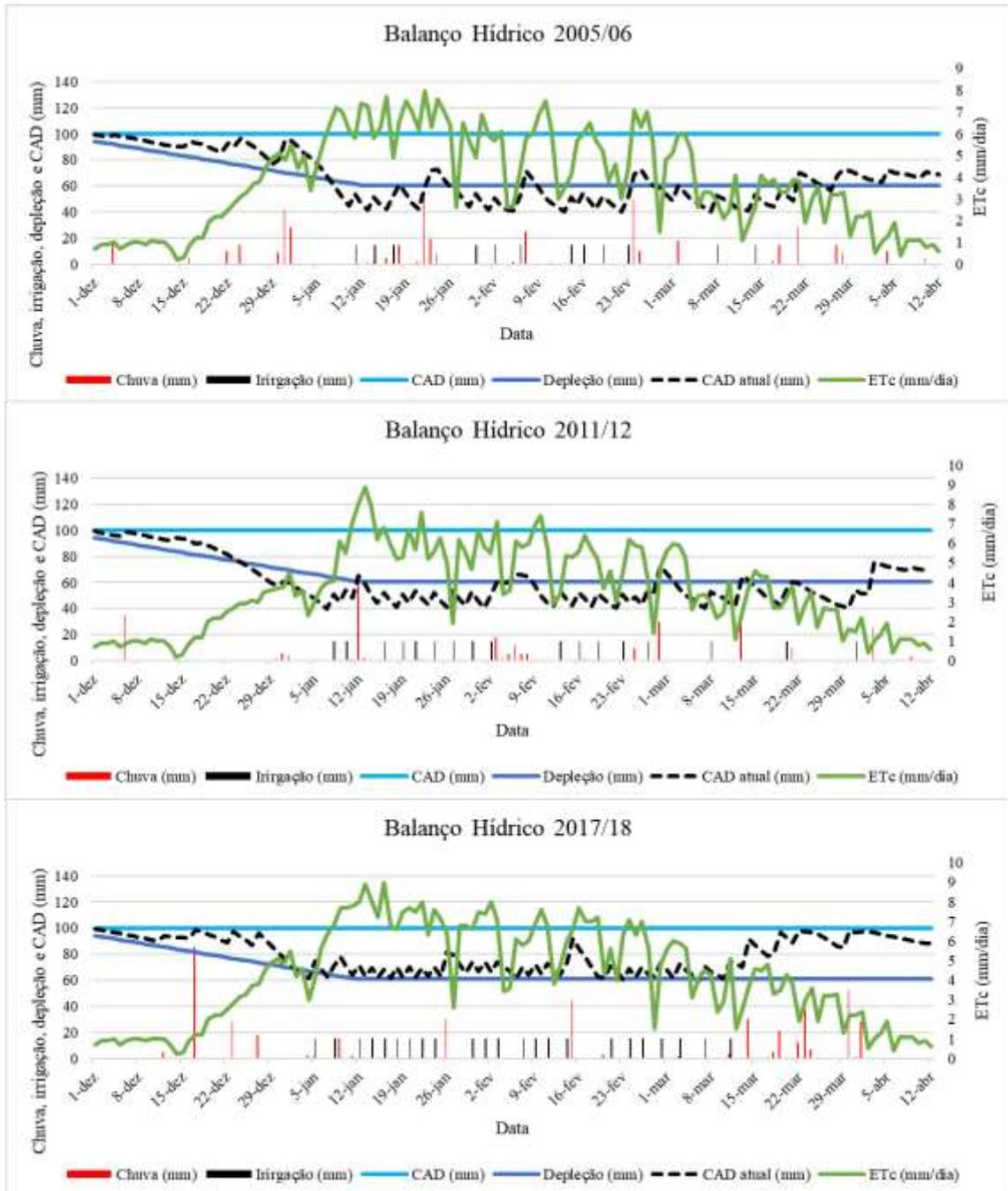


Fonte: Autor, 2023.

Para os anos com chuvas abaixo da média com 425, 284 e 440 mm em 2005-2006, 2011-2012 e 2017-2018, respectivamente (Figura 10). Nota-se que além da baixa quantidade de chuvas, inferior a demanda da cultura (ETc acumulada de 529 mm), houve também, a concentração de eventos de chuvas que geraram escoamento superficial (Tabela 3) e períodos

longos sem chuvas, demandando de irrigações suplementares ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento para a manutenção da umidade em níveis desejados.

Figura 10 – Balanço hídrico sequencial da cultura da soja para os anos agrícolas 2005/06, 2011/12 e 2017/18. Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Autor, 2023.

Dentre os anos secos exemplificados, nota-se que o de 2005-06 foi o que teve a melhor distribuição de chuvas, com a menor demanda por irrigação suplementar (12 irrigações). O ano

de 2017-18 apresentou chuvas acumuladas muito similares ao 2005-06, mas teve a maior parte das chuvas perdidas por escoamento superficial (203 mm), em função da distribuição próxima entre os eventos, quando o solo já estava com a CAD máxima e, por valores elevados de lâmina, que também, excedem a CAD. Assim, teve a maior necessidade de irrigação suplementar de toda a série de dados, totalizando 23 irrigações. Já o ano de 2011-12 foi o que apresentou os menores valores de chuvas (284 mm), ainda que com uma boa distribuição e efetividade, mas insuficientes para suprir a demanda hídrica da cultura ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento, sendo fundamentais 17 irrigações suplementares para manter as condições de suprimento hídrico à cultura da soja.

Neste estudo o número de irrigação/ciclo variou de 5 a 23 (Tabela 4) com lâmina total de 75 a 345 mm (Tabela 3). Vivian (2010), estudando a resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS, identificou a necessidades de aplicação de lâmina de irrigação variando de 54,1 a 429,9 mm, em função da duração de ciclo e época de semeadura distintas.

Tabela 4 – Resultados do número de irrigações por mês e total para o ciclo da cultura nos anos agrícolas de 2001-02 (ano 1) a 2020-21 (ano 20).

Ano agrícola	Nº de irrigação/mês				Soma
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	
2001-2002*	6	5	0	0	11
2002-2003	6	3	0	0	9
2003-2004	6	4	4	1	15
2004-2005	5	6	3	0	14
2005-2006	4	6	2	0	12
2006-2007	6	4	0	0	10
2007-2008	7	6	1	0	14
2008-2009	2	3	1	0	6
2009-2010	4	1	5	0	10
2010-2011	6	1	2	0	9
2011-2012	8	6	2	1	17
2012-2013	6	6	1	0	13
2013-2014	4	3	0	0	7
2014-2015	0	5	5	0	10
2015-2016	6	1	0	0	7
2016-2017	0	4	0	1	5
2017-2018	10	9	4	0	23
2018-2019	2	4	1	1	8
2019-2020	5	8	5	0	18
2020-2021	4	2	1	0	7

Fonte: Autor, 2023.

A maior concentração de irrigações ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro, sendo a máxima demanda observada de 10 e 9 irrigações em janeiro e fevereiro, respectivamente, no ano 2017-18 (chuvas abaixo da média dos dados). Indicando a importância do planejamento do reservatório para o armazenamento da água necessária para a irrigação suplementar nestes meses mais críticos.

Assim, os resultados deste estudo servem como um indicativo da necessidade de irrigação suplementar para a cultura da soja na região de estudo, que poderá contribuir para o planejamento de reservatórios e de sistemas de irrigação. Ewaid, Abed e Al-Ansari (2019), estudando a programação e a necessidade da irrigação no sul do Iraque, concluíram que o modelo CROPWAT contribui para a compreensão das necessidades hídricas das culturas (trigo, cevada, sorgo e tomate) e para o planejamento dos recursos hídricos com mais eficiência.

#### **4. CONCLUSÃO**

Para Cachoeira do Sul - RS, para um período de vinte anos agrícolas foram observadas variações nas chuvas acumuladas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja, variando entre 284 e 1084 mm e a demanda por irrigação suplementar variou entre 75 e 345 mm.

Do total dos vinte anos agrícolas avaliados, ocorreram nove anos em que as chuvas estiveram acima da média registrada nos dados, o que resultou na necessidade média de 129 mm de irrigação suplementar e, onze anos as chuvas abaixo da média, exigindo uma quantidade maior de irrigação suplementar, em média de 205 mm.

A necessidade de irrigação é influenciada pela distribuição regular, intensidade e quantidade das chuvas ao longo do ciclo de crescimento da cultura, uma vez que isso afeta diretamente a eficiência na utilização da chuva no balanço hídrico da cultura.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G. et al. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, FAO, Rome, Italy, 300 pp, 1998.
- ANDRADE, C. **Seleção do sistema de irrigação**. 2001.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. - 2. ed. -- Brasília: ANA, 2021
- ARAÚJO, R. A.; PAIVA, J. R.; SILVA, E. P. da. Modelagem do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica utilizando o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 571-577, 2016.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2022
- CUNHA, G. R. et al. Zoneamento Agrícola e Época de Semeadura para Soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.446-459, 2001.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua em rendimento de los cultivos. Campina Grande**: UFPB, 1994. (FAO, Estudos de irrigação e drenagem, 33).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Soja em números (safra 2021/22)**. Disponível em:  
<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 11 abril 2022
- EWAID, Salam Hussein; ABED, Salwan Ali; AL-ANSARI, Nadhir. Crop water requirements and irrigation schedules for some major crops in Southern Iraq. **Water**, v. 11, n. 4, p. 756, 2019.
- FARIAS, J. R. B; NEUMAIER, N; NEPOMUCENO A. L. **Seca – Soja em Carência de água. 2017**. Disponível em:  
[https://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/index.php?option=com\\_content&view=article&id=73%3Aexigencias-climaticas&catid=84&Itemid=435](https://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/index.php?option=com_content&view=article&id=73%3Aexigencias-climaticas&catid=84&Itemid=435). Acesso em: 07 jun. 2019.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M. A. Influence of El Niño Os (ENSO) on the determination of the South of the State of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.127-132, 1997
- OLIVEIRA, Z.B.; KNIES, A. E.; BOTTEGA, E. L.; Silva, C.M.; GOMES, J. I. T. Influence of supplementary irrigation on the productivity of soybean cultivars for the 2018-19 and

2019-20 harvest in the central region of RS. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p .15580-15595, 2021.

PEREIRA, L.; RAZIEI, T. **Agricultural Water Management**. Volume 121, pág. 1. 2013.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas** - Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

SENTELHAS, P. C; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S; FARIAS, J.R.B.; HAMPF, A.C.; NENDEL, C. The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v. 153, p. 1394-1411, 2015.

VIVAN, G. A. Resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS. 2010. 87 f. **Dissertação** (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2010.