



## O sistema IrrigaSys de apoio à gestão da rega no vale do Sorraia

L. Simionesei<sup>1</sup>, T.B. Ramos<sup>1</sup>, J. Palma<sup>1</sup>, A.R. Oliveira<sup>1</sup>, R. Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal; lucian.simionesei@tecnico.ulisboa.pt

**Resumo:** Este trabalho apresenta o sistema IrrigaSys que integra diferentes ferramentas “online” de apoio à gestão da rega. Este sistema tem sido desenvolvido ao longo dos últimos 5 anos, prestando apoio à gestão da rega a cerca de 103 parcelas de 30 agricultores do perímetro de rega do Vale do Sorraia, Ribatejo, Portugal. Os dados necessários para correr o sistema são mínimos e incluem a localização da parcela, a cultura a regar, as datas de sementeira e de colheita, a textura do solo, o método de rega e as dotações diárias ou semanais efetivamente aplicadas em cada parcela. Com base nesta informação, o sistema descarrega automaticamente os dados meteorológicos da estação mais próxima, bem como as respectivas previsões para os 7 dias seguintes. Em seguida, procede ao cálculo do balanço da água no solo e das necessidades de rega com o modelo MOHID-Land. Os resultados são depois disponibilizados através da interface Web, numa aplicação para telemóvel, por SMS e por email. No relatório fornecido ao agricultor são apresentados os resultados do balanço de água do solo, o calendário de rega recomendado e um mapa atualizado com um índice vegetativo (NDVI) da parcela. Como próximo passo, o serviço deverá começar a identificar automaticamente o estado da cultura com base na informação obtida por satélite.

**Palavras-chave:** Balanço de água no solo; Detecção remota; MOHID-Land; Sistema de Apoio à Decisão.

### 1. Introdução

Existem atualmente uma série de ferramentas (modelos, sensores de humidade, produtos de deteção remota) de apoio à gestão da rega, mas que pelas suas especificidades técnicas, são difíceis de utilizar pelos agricultores ou serviços de extensão rural. Os sistemas de apoio à decisão (SAD) procuram reunir muitas dessas ferramentas, tentando minimizar, tanto quanto possível, muita da complexidade associada e necessidades de intervenção por parte dos utilizadores finais. Destacam-se ao longo dos últimos anos, a título de exemplo, a plataforma FIGARO ([www.figaro-irrigation.net/](http://www.figaro-irrigation.net/)), que corre operacionalmente o modelo AquaCrop [1] para a calendarização da rega com base em previsões meteorológicas para um prazo de 7 dias; o sistema SAGRA ([www.cotr.pt/servicos/sagra.php](http://www.cotr.pt/servicos/sagra.php)), que fornece as recomendações de rega com base nos dados meteorológicos medidos em 14 estações distribuídas pelo sul do país; e a plataforma IRRISTRAT ([www.hidrosoph.com/PT/irriistrat.html](http://www.hidrosoph.com/PT/irriistrat.html)) que integra informação meteorológica, sensores de humidade e um modelo de balanço de água no solo no cálculo das recomendações da rega. Todos estes sistemas são tecnologicamente avançados, apresentando um produto final um tanto ou quanto semelhante, i.e., o balanço de água no solo. As diferenças residem fundamentalmente na precisão com que as diferentes componentes do balanço são

estimadas, dependendo a qualidade dos resultados da facilidade com que os modelos subjacentes são calibrados para diferentes situações a partir dos escassos dados disponíveis.

Este trabalho apresenta o sistema de apoio à decisão IrrigaSys ([irrigasys.maretec.org](http://irrigasys.maretec.org)) que integra uma base de dados, um modelo baseado em processos físicos, imagens de satélite e uma interface gráfica online. Este sistema tem sido desenvolvido ao longo dos últimos 5 anos, prestando apoio à gestão da rega a cerca de 103 parcelas de 30 agricultores do perímetro de rega do Vale do Sorraia, Ribatejo, Portugal.

## **2. Descrição do sistema IrrigaSys**

### *2.1. Descrição geral*

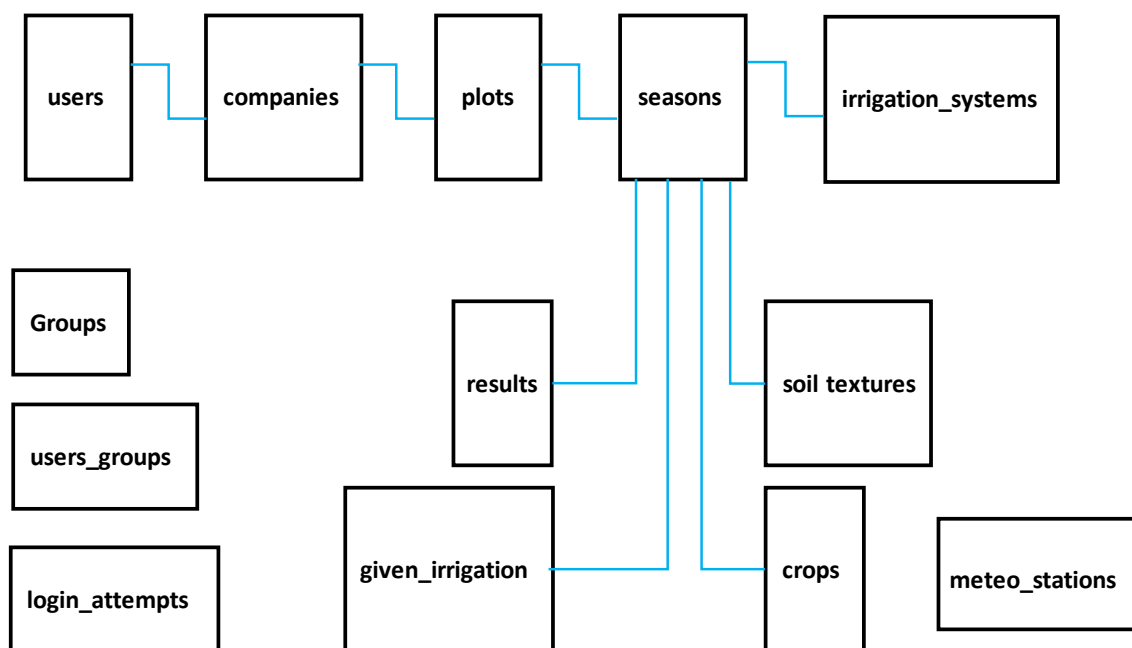
O sistema IrrigaSys pode ser acedido através de uma plataforma online disponível em <http://irrigasys.maretec.org/>. Esta plataforma online foi desenvolvida para facilitar a gestão do sistema e a visualização dos resultados. A plataforma possui três níveis de acesso: administrador, gestor, utilizador. O nível de administrador está apenas disponível aos responsáveis pelo desenvolvimento do sistema, sendo estes os únicos com capacidade de adicionar novos usuários ou novas culturas. O nível de gestor foi desenvolvido para os técnicos da Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia (ARBVS) que gerem o sistema e interagem com os utilizadores finais, podendo ativar os usuários, mudar as culturas de uma determinada parcela, iniciar o serviço de rega, ou discriminar os eventos reais de rega (dotações semanais ou diárias) com base nas respostas dos agricultores. O nível de utilizador foi desenvolvido para os agricultores aderentes ao sistema, permitindo a visualização dos resultados unicamente para as parcelas sob sua gestão, podendo interagir diretamente com a base de dados através da introdução das dotações efetivamente aplicadas (valores semanais ou diários).

Os dados necessários para correr o sistema são mínimos, sendo fornecidos diretamente pelo Agricultor ou por técnicos da ARBVS e incluem a localização da parcela, a cultura a regar, as datas de sementeira e de colheita, a textura do solo, o método de rega e as dotações diárias ou semanais efetivamente aplicadas em cada parcela. Com base nesta informação, o sistema descarrega automaticamente os dados meteorológicos da estação mais próxima, juntamente com as respectivas previsões fornecidas pelo modelo MM5 para os 7 dias seguintes. Em seguida, procede ao cálculo do balanço da água no solo com o modelo MOHID-Land e das necessidades de rega para a semana seguinte. O cálculo do balanço de água do solo tem em conta as propriedades do solo, a fase da cultura e os coeficientes culturais, cuja informação está disponível na base de dados usada na gestão do serviço. Quando as dotações de rega reais não são fornecidas pelos agricultores, o sistema considera uma rega da parcela com base nos parâmetros otimizados. A base de dados inclui também os parâmetros do MOHID-Land previamente calibrados para simulação do desenvolvimento vegetativo de diferentes culturas, sendo esta informação fundamental para a correta partição da evapotranspiração em valores de transpiração da cultura e evaporação do solo. Os resultados são depois disponibilizados através da interface Web, de uma aplicação para telemóvel desenvolvida para o sistema Android, SMS e por email. No relatório fornecido são apresentados os resultados do balanço de água do solo desde o início da cultura, o calendário de rega recomendado para os dias seguintes e um mapa com um índice vegetativo (NDVI) da parcela. Todo o sistema IrrigaSys corre num script desenvolvido em Perl.

#### *2.1.1. Base de dados*

A base de dados do sistema IrrigaSys foi desenvolvida em MySQL e é composta por 13 tabelas (Figura 1): a tabela USERS descreve os usuários do sistema, com as respectivas identificações, contactos e códigos de acesso ao sistema; a tabela COMPANIES inclui

informação sobre as explorações agrícolas aderentes ao IrrigaSys, também com as respectivas identificações e contatos (um usuário pode gerir mais de uma exploração agrícola); a tabela PLOTS identifica as parcelas em que o sistema está implementado e a respectiva localização geográfica (uma exploração agrícola pode incluir várias parcelas); a tabela SEASONS é o coração do sistema, identificando o ano em questão e definindo, para cada parcela, o sistema de rega utilizado e respectiva eficiência, a dotação máxima anual que não pode ser excedida (imposta por legislação), o tipo de regante (definido na legislação), a cultura e data de sementeira, o tipo de solo, o teor de água no solo à data de sementeira (início da simulação) e, ainda, o mecanismo de ativação do sistema IrrigaSys para que este comece a funcionar. A tabela SEASONS está ligada às tabelas: IRRIGATION\_SYSTEMS onde estão listados diferentes sistemas de rega e respectivas características; SOIL\_TEXTURES onde estão discriminados diferentes tipos de solo a serem considerados nas simulações do modelo; CROPS onde estão associados, para cada cultura, os diferentes coeficientes culturais a serem adotados ao longo do ciclo vegetativo das plantas e respectivas frações das unidades de calor totais que fazem alterar a fase do ciclo vegetativo, bem como as pressões efetivas de água no solo que fazem acionar a programação automática da rega; GIVEN\_IRRIGATION que recebe, quando fornecidas, as dotações reais aplicadas na parcela até à data; e RESULTS onde são depositados os resultados do cálculo do balanço de água no solo e informação meteorológica a ser apresentada nos relatórios finais a enviar ao agricultor. Existem ainda 4 tabelas que não estão relacionadas com as anteriores, a tabela METEO\_STATION que identifica e localiza as 10 estações meteorológicas a que o sistema tem acesso e as tabelas GROUPS, USERS\_GROUPS e LOGIN\_ATTEMPTS que tem apenas uma função administrativa do sistema.



**Figura 1.** Esquema simplificado da base de dados.

#### 2.1.2. Modelo

O balanço de água no solo e a programação da rega são calculados com o modelo MOHID-Land [2]. Este, é um modelo físico, distribuído, onde os fluxos verticais da água no solo são calculados através da equação de Richards, que inclui também um termo de modo a contabilizar a

extração de água do solo pelas plantas. As propriedades hidráulicas do solo, necessárias à resolução daquela equação, são descritas pelo modelo de Mualem-van Genuchten [3]:

$$S_e(h) = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{\left(1 + |\alpha h|^\eta\right)^m} \quad (1)$$

$$K(h) = K_s S_e^\ell \left[ 1 - \left(1 - S_e^{1/m}\right)^m \right]^2 \quad (2)$$

em que  $S_e$  é a saturação efectiva ( $L^3 L^{-3}$ ),  $\theta_r$  e  $\theta_s$  correspondem ao teor de água residual e na saturação, respectivamente ( $L^3 L^{-3}$ ),  $\alpha$  ( $L^{-1}$ ) e  $\eta$  (-) são parâmetros empíricos,  $m=1-1/\eta$ , e  $\ell$  é um parâmetro empírico relacionado com a conectividade/tortuosidade do meio poroso.

A extracção de água do solo pelas raízes das plantas é calculada segundo Feddes et al. [4], em que a transpiração potencial ( $T_p$ ,  $L T^{-1}$ ) é distribuída linearmente pela zona radical através da função  $T_p(z)$  e pode ser diminuída pela ocorrência de condições de stress, nomeadamente o stress hídrico. Para tal, a evapotranspiração cultural ( $ET_c$ ,  $L T^{-1}$ ) é primeiro obtida pelo produto da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ,  $L T^{-1}$ ) e o respetivo coeficiente cultural ( $K_c$ ) [5] e depois fracionada em  $T_p$  e evaporação potencial ( $E_p$ ,  $L T^{-1}$ ) em função do índice de área foliar (LAI,  $m^2 m^{-2}$ ) [6]:

$$T_p = ET_c \left(1 - e^{(-\lambda LAI)}\right) \quad (4)$$

$$E_p = ET_c - T_p \quad (5)$$

em que  $\lambda$  é o coeficiente de extinção da atenuação da radiação dentro da canópis das plantas (-). A transpiração real ( $T_a$ ,  $L T^{-1}$ ) é obtida através da integração da função  $T_p(z)$  e limitada, de acordo com o modelo proposto por Feddes et al. [4], pela resposta da planta a diferentes condições de  $h$ . Este modelo considera que a extração de água pelas plantas iguala as condições potenciais entre as pressões efetivas  $h_2$  e  $h_3$ , decrescendo linearmente quando  $h > h_2$  e  $h < h_3$  ou tornando-se nula quando  $h < h_4$  ou  $h > h_1$  (números subscritos de 1 a 4 correspondem a diferentes limites de pressão efectiva de água no solo). Já a evaporação real ( $E_a$ ,  $L T^{-1}$ ) é obtida através da limitação da  $E_p$  a um determinado potencial mátrico [7].

O LAI evolui ao longo do ciclo da cultura e depende das unidades de calor necessárias para a planta atingir a maturidade (PHU) e das condições de stress a que as plantas estão sujeitas [8]. Durante as fases iniciais de desenvolvimento da cultura (fase inicial e fase de desenvolvimento rápido), o aumento diário do LAI é função da fração do LAI máximo da planta ( $LAI_{max}$ ,  $m^2 m^{-2}$ ) que, em condições potenciais, será atingida durante essa fase ( $frLAI_{max, ini}$ ) e das condições de stress. Durante a fase média de desenvolvimento, o LAI é considerado constante, enquanto que na fase de senescência, o LAI diminui em função do  $LAI_{max}$ , das PHU e do stress da cultura.

A programação da rega é realizada em função das necessidades hídricas da cultura e da pressão efetiva da água do solo. É definido um valor limite de pressão efetiva ( $h_t$ ) para cada célula que compõe o domínio solo. Quando  $h_t$  é atingido numa determinada célula devido à extração de água pelas plantas, o modelo considera que será necessário regar. A quantidade de água a aplicar será a suficiente para elevar  $h_t$  nessa célula até uma pressão efetiva a definir, normalmente a correspondente à capacidade de campo. No entanto, a quantidade total, obtida a partir do somatório de todas as células que definem o solo, tem de ser sempre superior a mínimo pré-definido de modo a evitar a recomendação de quantidades pouco significativas. A programação da rega pode ainda ser função das horas disponíveis para regar ou do intervalo de dias entre regas.

### 2.1.3. Produtos de detecção remota

O sistema permite disponibilizar automaticamente mapas do índice vegetativo NDVI ("Normalized Difference Vegetation Index") para que o agricultor possa avaliar semanalmente a homogeneidade da cultura na sua parcela. Para tal, o IrrigaSys inclui um script feito em

Python que descarrega automaticamente do Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>), a última imagem disponível do Sentinel 2 nos últimos 7 dias, com cobertura de nuvens inferior a 10%. Em seguida, essas imagens são processadas para correção atmosférica dos valores da reflectância. É depois calculado o NDVI a partir das bandas 4 (vermelho, Red) e 8 (infra-vermelho próximo, NIR) do Sentinel 2 ( $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ ). Finalmente, as imagens são automaticamente cortadas para a área de cada uma das parcelas, projetadas no sistema WGS84, e disponibilizadas no serviço para visualização.

#### 2.1.4. Apresentação de resultados

Os resultados do sistema IrrigaSys podem ser consultados de várias formas (Figura 2). O formato mais simples é através de uma SMS recebida semanalmente no telemóvel com a identificação da parcela e semana em questão, as previsões da precipitação, temperatura máxima e  $ET_c$  para a semana seguinte e a dotação semanal de rega recomendada para essa semana.



**Figura 2.** Exemplo da visualização dos resultados na plataforma online.

Existe também um aplicação para telemóveis desenvolvida no sistema Android e que pode ser obtido na “Google Store”. Esta aplicação foi desenvolvida para facilitar o acesso do agricultor ao sistema, em particular, se consultado diariamente. O menu inicial dá acesso a às diferentes parcelas geridas pelo usuário, podendo este consultar o balanço de água no solo na semana em questão, o total de rega já aplicado deste o início do desenvolvimento da cultura, as previsões da precipitação, temperatura máxima e  $ET_c$  para a semana seguinte e a dotação semanal de rega recomendada para essa semana.

Cada usuário recebe semanalmente e por parcela, um relatório mais completo em formato pdf. Este é composto por cinco áreas principais: A primeira parte com as informações da parcela, tais como a sua identificação, data de sementeira que está a ser considerada, sistema de rega e número da semana (data). A segunda área apresenta o balanço hídrico para a semana anterior ao relatório, bem como a previsão para a semana seguinte, juntamente com um gráfico circular que apresenta a quantidade de água já aplicada ao longo da campanha de rega e limite que não pode ser ultrapassado. A terceira parte é composta por dois gráficos, em que o primeiro apresenta a evolução do teor de água na zona radical desde a data de sementeira à data do relatório e o

segundo mostra um gráfico que discrimina os eventos reais de rega e de precipitação que foram tidos em conta no cálculo do balanço de água no solo. A quarta parte do relatório mostra a evolução diária do balanço de água no solo prevista para a semana seguinte à data do relatório, apresentando, para cada dia, as temperaturas mínima e máxima previstas ( $^{\circ}\text{C}$ ), as previsões de chuva (mm), a recomendação da rega (mm), o teor de água na zona radical (mm), o teor de água no solo à capacidade de campo e o teor crítico de água da cultura a partir do qual começa a haver stress hídrico (mm), a  $\text{ET}_0$  e a  $\text{ET}_c$  (mm), o  $K_c$ , profundidade da raiz (m), a quantidade de água perdida por percolação (mm) e variação da água no solo (mm). Finalmente, a quinta parte do relatório exhibe o mapa do NDVI atualizado para a parcela em questão.

Todos os resultados podem ser também diretamente consultados na plataforma online.

## *2.2. Implementação do sistema*

O script desenvolvido em Perl para o sistema IrrigaSys tem a capacidade de selecionar diferentes ficheiros de entrada do modelo MOHID-Land, que estão pré-definidos consoante as características das parcelas introduzidas na base de dados. O perfil do solo é sempre especificado com 2 m de profundidade e dividido em 3 horizontes. O domínio de cálculo, composto pelo perfil de solo, é representado por uma coluna vertical discretizada em 11 células com 1 m de largura, 1 m de comprimento e espessura variável entre os 0.05 m na parte superior e 0.50 m na parte inferior. Cada célula da coluna define então um volume de controlo onde as variáveis de estado (por exemplo, o teor de água no solo) são calculados no centro das células e os fluxos (e variáveis relacionadas) nas faces (método dos volumes finitos). A condição de fronteira superior é sempre determinada pelas taxas de  $T_a$  e  $E_a$  e pelos fluxos de rega e precipitação. A condição de limite inferior é sempre especificada como drenagem livre.

Os valores de  $\text{ET}_c$  são calculados a partir do produto dos valores horários de  $\text{ET}_0$  pelos  $K_c$  específicos da fase de desenvolvimento de cada cultura, sendo estes definidos na base de dados do IrrigaSys de acordo com Allen et al. [5]. A partição da  $\text{ET}_c$  nas suas componentes  $T_p$  e  $E_p$  é feita a partir da simulação do LAI, sendo que a parametrização do modelo para o crescimento vegetativo tem por base o resultado da calibração em alguns casos de estudo na região [2, 9], ou os valores dados por por defeito em Neitsch et al. [8]. Os valores de  $h_1$ - $h_4$  para o cálculo do stress hídrico estão também disponíveis, para cada cultura, nos ficheiros internos do modelo MOHID-Land. Estes são definidos segundo Wesseling et al. [10] e podem ser acedidos através do código da cultura. As condições iniciais do teor de água no solo são sempre definidas para capacidade de campo. Finalmente os parâmetros hidráulicos do solo são definidos para três classes de textura do solo (fina, média, grosseira) com base também nos resultados da calibração do modelo em alguns casos de estudo implementados na região [2, 9].

## **3. Limitações e desenvolvimentos futuros**

O IrrigaSys é um sistema em desenvolvimento que tenta aproveitar a experiência adquirida em diversos projectos de investigação, convertendo-se numa ferramenta prática de apoio à rega na bacia do Vale do Sorraia. O sistema tem a grande capacidade de fornecer uma quantidade significativa de informação ao agricultor de forma fácil e automática. No entanto, a parametrização relacionada com as propriedades hidráulicas do solo tem de ser enriquecida para que o sistema possa ter em conta a grande variabilidade destas propriedades ao longo da paisagem. Também a base de dados relacionada com os parâmetros de desenvolvimento das culturas deve ser estendida para melhor descrever os padrões locais de crescimento das plantas. O sistema também deverá começar a identificar automaticamente o estado de desenvolvimento da cultura com base na informação obtida por satélite, permitindo assim uma melhor precisão no cálculo do balanço de água no solo.

#### **4. Agradecimentos**

Este trabalho foi realizado no âmbito do Projecto WATER4EVER “Optimizing water use in agriculture to preserve soil and water resources” (WaterJPI/0010/2016), financiado pela Water Joint Programming Initiative, Water Challenges for a Changing World, ERA-NET Cofund WATERWORKS 2015 da Comissão Europeia. O MARETEC foi financiado pelo projecto UID/EEA/50009/2019 da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). T.B. Ramos foi financiado pelo bolsa SFRH/BPD/110655/2015 da FCT.

#### **Referências**

1. Vanuytrecht, E.; Raes, D.; Steduto, P.; Hsiao, T.C.; Fereres, E.; Heng, L.K.; Vila, M.G.; Moreno, P.M. AquaCrop: FAO’s crop water productivity and yield assessment model. *Environ. Model. Softw.* 2014, 62, 351–360.
2. Ramos, T.B.; Simionesei, L.; Jauch, E.; Almeida, C.; Neves, R. Modelling soil water and maize growth dynamics influenced by shallow groundwater conditions in the Sorraia Valley region, Portugal. *Agric. Water Manag.* 2017, 185, 27–42.
3. Van Genuchten, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1980, 44, 892–898.
4. Feddes, R.A.; Kowalik, P.J.; Zaradny, H. *Simulation of Field Water Use and Crop Yield*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 1978.
5. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. *Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements*; Irrigation & Drainage Paper 56; FAO: Rome, Italy, 1998.
6. Ritchie, J.T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.* 1972, 8, 1204–1213.
7. American Society of Civil Engineers (ASCE). *Hydrology Handbook Task Committee on Hydrology Handbook*; II Series, GB 661.2. H93; ASCE: Reston, VA, USA, 1996; pp. 96–104.
8. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. *Soil and Water Assessment Tool*; Theoretical Documentation; Version 2009; Texas Water Resources Institute; Technical Report No. 406; Texas A&M University System: College Station, TX, USA, 2011.
9. Simionesei, L.; Ramos, T.B.; Oliveira, A.R.; Neves, R. Modelação da rega deficitária em vinha com o MOHID-Land. *X Congresso de AgroEngenharia*, Huesca, 2019.
10. Wesseling, J.G.; Elbers, J.A.; Kabat, P.; van den Broek, B.J. *SWATRE: Instructions for Input Report*; Winand Staring Centre: Wageningen, The Netherlands, 1991.