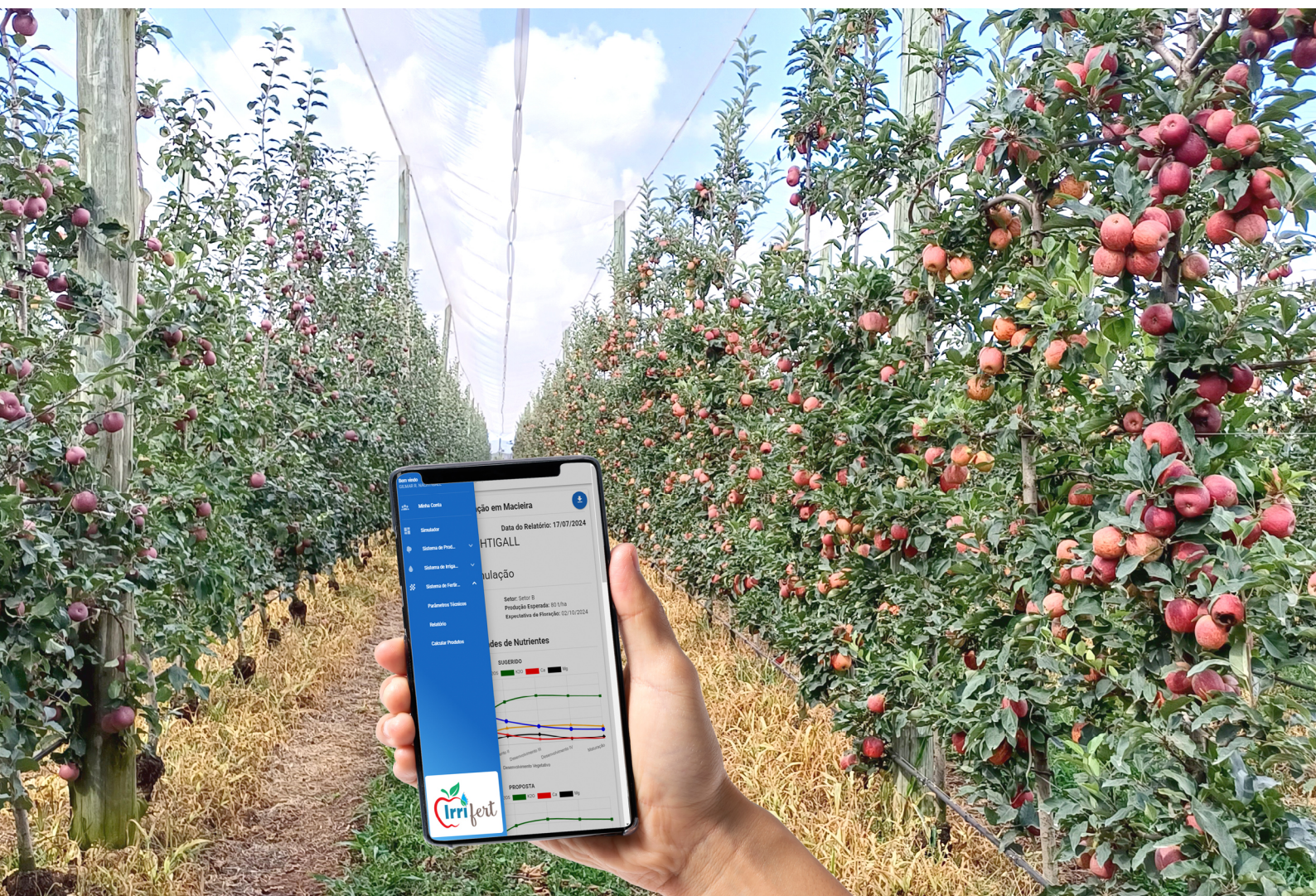


Bento Gonçalves, RS / Julho, 2025

Aplicativo Irrifert

Sistema de irrigação e fertirrigação por gotejamento para a cultura da macieira



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Uva e Vinho
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 1516-8107 / e-ISSN 1808-4648

Documentos 138

Julho, 2025

Aplicativo Irrifert Sistema de irrigação e fertirrigação por gotejamento para a cultura da macieira

*Gilmar Ribeiro Nachtigall
Lucas Garcia Nachtigall
Daniel Tonet*

***Embrapa Uva e Vinho
Bento Gonçalves, RS
2025***

Embrapa Uva e Vinho
Rua Livramento, nº 515
Caixa Postal 130
95701-008 Bento Gonçalves, RS
www.embrapa.br/uva-e-vinho
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
Presidente
Henrique Pessoa dos Santos

Secretária-executiva
Renata Gava

Membros
Fernando José Hawerth
Mauro Celso Zanús
Joelsio José Lazzarotto
Jorge Tonietto
Thor Vinícius Martins Fajardo
Alessandra Russi
Edgardo Aquiles Prado Perez
Fábio Ribeiro dos Santos
Luciana Elena Mendonça Prado
Michele Belas Coutinho Pereira
e Rochelle Martins Alvorcem

Revisão de texto
Renata Gava

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Foto da capa
Gilmar Ribeiro Nachtigall

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Uva e Vinho

Nachtigall, Gilmar Ribeiro.

Aplicativo Irrifert: sistema de irrigação e fertirrigação por gotejamento para a cultura da macieira / Gilmar Ribeiro Nachtigall, Lucas Garcia Nachtigall, Daniel Tonet. – Bento Gonçalves : Embrapa Uva e Vinho, julho 2025.

PDF (27p.) : – (Documentos / Embrapa Uva e Vinho, e-ISSN 1808-4648 ; 138).

1. *Malus domestica*. 2. Irrigação. 3. Fertirrigação. 4. Manejo de água no solo. 5. Manejo de fertilizantes. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 631.5

Rochelle Martins Alvorcem (CRB-10/1810)

© 2025 Embrapa

Autores

Gilmar Ribeiro Nachtigall

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Vacaria, RS

Daniel Tonet

Engenheiro-agrônomo, promotor de vendas da Agrimar, Caxias do Sul, RS

Lucas Garcia Nachtigall

Bacharel em Ciência da Computação, mestre em Ciência da Computação, proprietário da LGN Desenvolvimento, Pelotas, RS

Apresentação

A produção de maçãs no sul do Brasil sofre frequentemente com a ocorrência de déficit hídrico no solo que afeta o desenvolvimento das plantas, a produção e a qualidade dos frutos. A cultura da macieira no sul do Brasil possui aproximadamente 35.000 ha de área cultivada, dos quais aproximadamente 2,5% utilizam sistemas de irrigação e fertirrigação.

Contudo, um dos problemas enfrentados na gestão de pomares de maçãs, está na definição da demanda adequada de água para a irrigação dos pomares (quando e quanto aplicar de água), bem como a correta recomendação dos fertilizantes via fertirrigação (doses e épocas de aplicação).

Resultados de pesquisa obtidos pela Embrapa Uva e Vinho, recomendam para o monitoramento adequado da disponibilidade de água no solo e indicação de irrigação, bem como na indicação das

quantidades e tipos e fertilizantes mais eficientes, em cada fase de desenvolvimento da cultura, via fertirrigação.

O Aplicativo Irrifert – Irrigação/Fertirrigação Maçã, desenvolvido pelo Embrapa Uva e Vinho em parceria com a empresa Agrimar orienta e indica o uso de cada uma destas tecnologias e representará um grande avanço para o sistema utilizado atualmente, já que, na maioria das vezes as iniciativas dos produtores não contemplam a forma adequada do uso destes sistemas.

Desenvolvido para a web e para smartphones com sistema operacional Android, o Irrifert contempla os principais módulos de gestão e monitoramento das atividades relacionadas à irrigação e fertirrigação do pomar, envolvendo as diferentes hierarquias de tomada de decisão.

Adeliano Cargnin

Chefe-Geral da Embrapa Uva e Vinho

Sumário

Introdução	6
Eficiência da irrigação e fertirrigação na cultura da macieira	7
Instalação do sistema de irrigação	10
Monitoramento da umidade do solo	11
Indicadores de manejo de irrigação com base na atmosfera	12
Indicadores de manejo de irrigação com base no solo	13
Ferramentas de monitoramento da irrigação e fertirrigação	14
Tensiômetro	15
Irrigômetro	15
Extrator de solução do solo	16
Uso do aplicativo	17
Instalação	17
Minha conta	19
Simulação de ganho de produção	19
Sistema de produção	19
Sistema de irrigação	21
Sistema de fertirrigação	23
Referências	25

Introdução

O cultivo de macieiras no sul do Brasil tem enfrentado nos últimos anos fortes efeitos de variações nas condições climáticas, que têm afetado significativamente a produtividade e a qualidade de frutos, aumentando os custos de produção e, por consequência, reduzindo a rentabilidade da cultura. Uma das principais condições climáticas adversas é a ocorrência de déficits hídricos no solo e estiagens prolongadas, que afetam o desenvolvimento das plantas e dos frutos. Na principal região produtora de maçãs do Rio Grande do Sul (Mesorregião Nordeste Rio-grandense), nas últimas dez safras agrícolas, cinco apresentaram condições de déficit hídrico no solo em algum momento do período vegetativo das plantas.

A fertirrigação é o termo usado para descrever a aplicação de fertilizantes solúveis junto da água de irrigação. Desta forma, a fertirrigação representa uma técnica na qual se torna possível o fornecimento de água e nutrientes simultaneamente para as plantas, combinando as técnicas e princípios da irrigação e o fornecimento adequado de nutrientes através de fertilizantes solúveis. Esse sistema permite a liberação controlada de nutrientes, seguindo as necessidades nas diferentes fases de desenvolvimento das plantas, evitando perdas por lixiviação. Uma das vantagens da fertirrigação é o potencial para uma sincronização entre a aplicação de nutrientes e a demanda de nutrientes pelas plantas. Além disso, os nutrientes são entregues diretamente ao sistema radicular, tornando a absorção mais eficiente, bem como limita a lixiviação e escoamento no solo.

Após vários anos de pesquisas, os resultados obtidos pela Embrapa Uva e Vinho indicam que, para as condições do sul do Brasil, a irrigação e a fertirrigação em macieiras aumentam a produtividade e qualidade dos frutos. Estes resultados positivos têm levado um número crescente de produtores

a adotar o uso destas tecnologias. Os resultados de pesquisa mostram que o uso da irrigação e da fertirrigação desde a implantação do pomar favorece o desenvolvimento inicial das plantas, aumentando a estrutura vegetativa e antecipando a produção.

Para que o emprego da irrigação em pomares de macieira seja eficiente deve-se avaliar o momento e a quantidade de água adequados a ser aplicado no pomar. Existem vários métodos para a obtenção destas informações, contudo pelo menor custo e boa eficiência sugere-se o uso da tensiometria. Já para que o uso da fertirrigação em pomares de macieira seja eficiente deve-se avaliar o momento e a quantidade de nutrientes adequados a serem aplicados no pomar, para cada cultivar e cada fase do desenvolvimento vegetativo das plantas. Para isso, deve-se conhecer a demanda de cada nutriente em cada fase de desenvolvimento da planta, bem como dimensionar o sistema de irrigação para atender os requisitos de água e nutrientes.

O uso da tensiometria para estabelecer a estimativa da umidade diária do solo e, se necessário, a quantidade de água a aplicar via irrigação em pomares de macieira requer uma série de premissas, cálculos matemáticos e cuidados, sem os quais podem ocorrer erros que podem promover o uso inadequado de água e, por consequência, perdas na eficiência produtiva do pomar.

Visando facilitar o usuário da irrigação/fertirrigação por gotejamento em pomares de macieira, a Embrapa Uva e Vinho e a empresa Agrimar uniram esforços para o desenvolvimento de um aplicativo para a web e para smartphones com sistema operacional Android, denominado “Irrifert Irrigação/Fertirrigação Maçã”.

A presente publicação tem por objetivos apresentar, de forma simplificada, resultados positivos do uso da irrigação/fertirrigação na cultura da macieira no sul do Brasil, incluindo os procedimentos para o estabelecimento do momento ideal e das quantidades necessárias de água e nutrientes via gotejamento, através desse aplicativo.

Eficiência da irrigação e fertirrigação na cultura da macieira

A macieira, por ser uma planta de grande porte, com abundante vegetação, apresenta evapotranspiração da cultura (ETc) elevada, em comparação com culturas anuais, o que exige elevadas quantidades de água disponível no solo para a obtenção de altas produtividades (Hoffmann; Bernardi, 2004; Nachtigall et al., 2009).

O cultivo de macieiras nos principais países produtores, principalmente em sistemas de produção em alta densidade e de elevado uso tecnológico, já utiliza há bastante tempo a irrigação e/ou fertirrigação para manter a alta produtividade e qualidade dos frutos comercializáveis. A eficiência da irrigação em macieiras nestes países foi comprovada por diversos resultados de pesquisa. No Canadá, Neilsen et al. (2010) avaliando o efeito da irrigação e tipos de manejo do pomar na produção, qualidade e estado nutricional em macieiras, verificaram que o déficit de irrigação reduziu o tamanho dos frutos em até 16%. No Chile, Lecaros-Arellano et al. (2021), constataram que a irrigação promoveu diferenças significativas na produção e qualidade dos frutos de macieiras 'Gala Brookfield'. Relatos da eficiência da irrigação em macieiras também foram verificados por Fallahi e Fallahi (2017) nos Estados Unidos (EUA), Mašán et al. (2018) na Eslovênia, Shatkovskiy et al. (2022) na Ucrânia e Chenafi et al. (2016) na Suíça. Os efeitos positivos da fertirrigação em macieiras podem envolver desde a melhoria no estado nutricional das plantas, em função do movimento mais rápido dos nutrientes para a zona da raiz (Neilsen et al., 1999), até o aumento no crescimento vegetativo e melhoria na produtividade e qualidade dos frutos (Svoboda et al., 2023; Fallahi et al., 2010; Huang et al., 2022; Robinson et al., 2017).

Segundo Robinson & Stiles (2004), o conceito da aplicação de fertilizantes através do sistema de irrigação foi desenvolvido em climas áridos como de Israel e da Califórnia, onde a água de irrigação é aplicada regularmente. Contudo, cada vez mais em regiões de clima mais úmido os plantios de pomares de alta densidade e com porta-enxertos ananizantes estão adicionando irrigação por gotejamento como um componente importante para garantir o sucesso do empreendimento. Para estes sistemas de produção, a aplicação de nutrientes via fertirrigação deverá ser sincronizada com a demanda da

planta e ajustada em função do ciclo de crescimento, idade da planta e condições climáticas.

No Brasil, em função das características climáticas predominantes até a última década, os sistemas de produção de maçãs não contemplavam o uso de irrigação ou da fertirrigação. Entretanto, as variações climáticas verificadas nos últimos anos têm se constituído em motivo de preocupações para os produtores de maçãs no sul do Brasil, principalmente pelo fato de que a irregularidade e a má distribuição das chuvas podem causar problemas, tanto no que se refere à qualidade, quanto à produtividade de macieiras (Nachtigall; Hawerth, 2023). Nas principais regiões produtoras de maçãs, os períodos de déficit hídrico ocorrem, principalmente, nas etapas do ciclo produtivo (final do crescimento dos ramos até a colheita) em que a demanda hídrica é maior (Beukes; Weber, 1982), fato que tem aumentado o interesse dos produtores pela instalação de sistemas de irrigação/fertirrigação em suas áreas.

Nas condições brasileiras, o uso de irrigação/fertirrigação na cultura da macieira ainda é insuficientemente estudado. Os primeiros trabalhos no tema, desenvolvidos a partir de 2011, já indicavam efeitos positivos da irrigação/fertirrigação na qualidade e produtividade da macieira no sul do Brasil (Conceição et al., 2011a; Nachtigall et al., 2012; Branco et al., 2013; Nachtigall et al., 2014a; 2014b). Segundo Nachtigall et al. (2014a; 2014b), a irrigação e a fertirrigação, quando comparadas ao cultivo em sequeiro, proporcionaram aumentos médios de produtividade de aproximadamente 11% para as cultivares Maxi Gala e Fuji Suprema e aumento significativo na coloração vermelha da epiderme da 'Maxi Gala'.

Em estudos mais recentes (Nachtigall, 2018; 2022), obtidos em experimentos realizados em áreas comerciais, por seis safras consecutivas, os resultados mostraram que tanto a irrigação + adubação via solo, como a irrigação/fertirrigação por gotejamento, aumentaram a produtividade e qualidade dos frutos. Contudo, os resultados mais expressivos sobre o rendimento e a qualidade foram obtidos com o uso da irrigação/fertirrigação (Figura 1).

Os resultados de rendimento médio das últimas oito safras têm sido consistentemente maiores no manejo com irrigação/fertirrigação, em comparação com o sequeiro, com valores médios de 29% de aumento para a cultivar Galaxy e de 90% para a cultivar Fuji Suprema (Nachtigall, 2022) (Figura 2). Estes resultados positivos ocorrem justamente quando se tem frequentes cenários de déficits hídricos nos solos, o que tem levado a um número crescente de produtores a adotar o uso destas tecnologias.



Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall

Figura 1. Pomar de macieira implantado em 2019, já com o uso de irrigação/fertirrigação, na esquerda, comparado com sequeiro, à direita. Vacaria, RS, 2020.

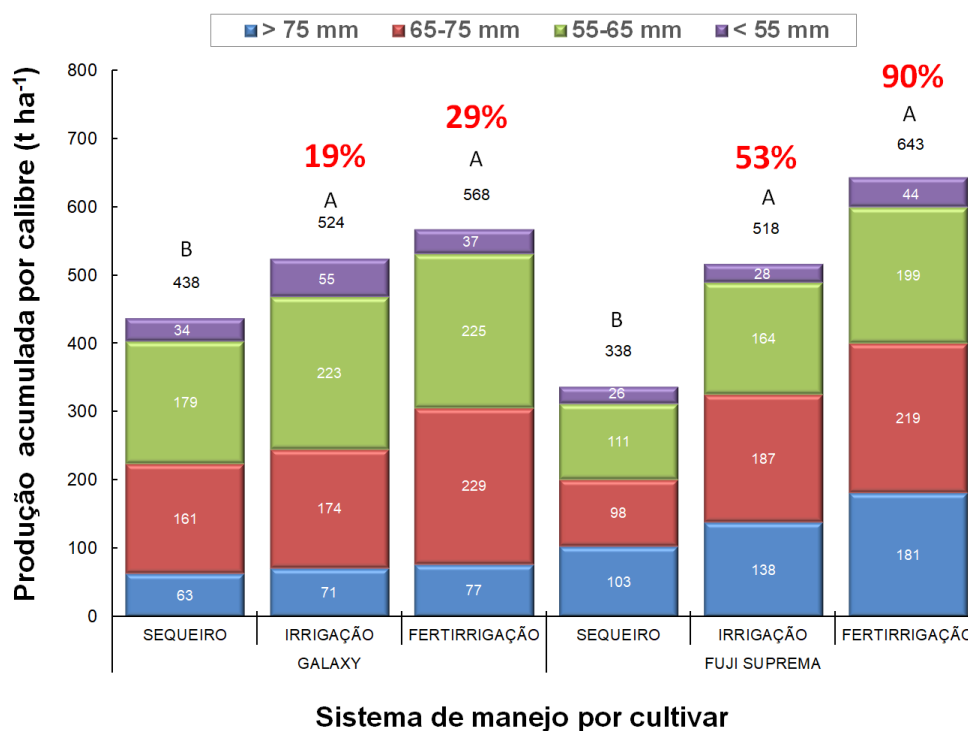


Figura 2. Produção total acumulada das cultivares Galaxy e Fuji Suprema em área com irrigação, fertirrigação e sequeiro nas safras 2015/2016 a 2022/2023. Fonte: Adaptado de Nachtigall (2022).

O tamanho médio dos frutos também foi aumentado pela irrigação/fertirrigação por gotejamento. Na média das últimas oito safras, somente a irrigação + adubação via solo promoveu, na cultivar Galaxy, um aumento médio de calibre de 19%, enquanto que na irrigação/fertirrigação o aumento foi de 29%. Para a 'Fuji Suprema', o aumento de calibre na irrigação + adubação via solo foi de 53%, enquanto que na irrigação/fertirrigação foi de 90% (Figura 2) (Nachtigall, 2022). Este aumento no tamanho da fruta representa uma diferença econômica significativa pelo uso destas tecnologias.

Além disso, houve incremento de calibre da fruta com o uso da irrigação/fertirrigação. Após oito safras consecutivas, verificou-se aumento médio de frutos com calibre superior a 75 mm de 12% para cultivares do Grupo Gala e superior a 30% para cultivares do Grupo Fuji, em comparação ao cultivo em sequeiro (Figura 2).

As pesquisas têm demonstrado que o uso da irrigação e fertirrigação desde a implantação do pomar favorece o desenvolvimento inicial das plantas, aumentando a estrutura vegetativa e antecipando a produção (Figura 3). Em avaliação realizada no segundo ano de plantio, através do cálculo da área de planta de macieiras, verificou-se um aumento de 84% nas estruturas vegetativas das plantas no sistema irrigado/fertirrigado, em comparação com o cultivo em sequeiro.

Quando o pomar atinge a fase de plena produção, a irrigação/fertirrigação pode promover melhoria da brotação, principalmente em condições de invernos secos e períodos de deficits hídricos na fase que antecede a brotação. Além disso, em função da ocorrência sistemática de períodos de deficits hídricos no solo, estas tecnologias aumentam a produtividade e a qualidade dos frutos.

Os resultados de mais de dez anos de pesquisa permitiram a obtenção de modelos de recomendação de quantidades a serem aplicadas via fertirrigação para a cultura da macieira nas condições do sul do Brasil. Para o manejo da fertirrigação devem-se respeitar as taxas de absorção e quantidades necessárias dos nutrientes em cada fase de desenvolvimento da cultura (Figura 4), de modo a obter o máximo desempenho nutricional das plantas.

Desta forma, o manejo da fertirrigação deve ser feito para cada tipo de solo e diferenciado para as cultivares do grupo Gala e Fuji, respeitando seus ciclos fenológicos. A partir do conhecimento da sazonalidade dos nutrientes, principalmente durante o ciclo vegetativo da cultura, é possível traçar estratégias para o fornecimento destes com maior precisão, levando em conta a disponibilidade dos nutrientes no solo e suas possíveis interações, a forma de absorção destes pela macieira, bem como a sua mobilidade na planta.

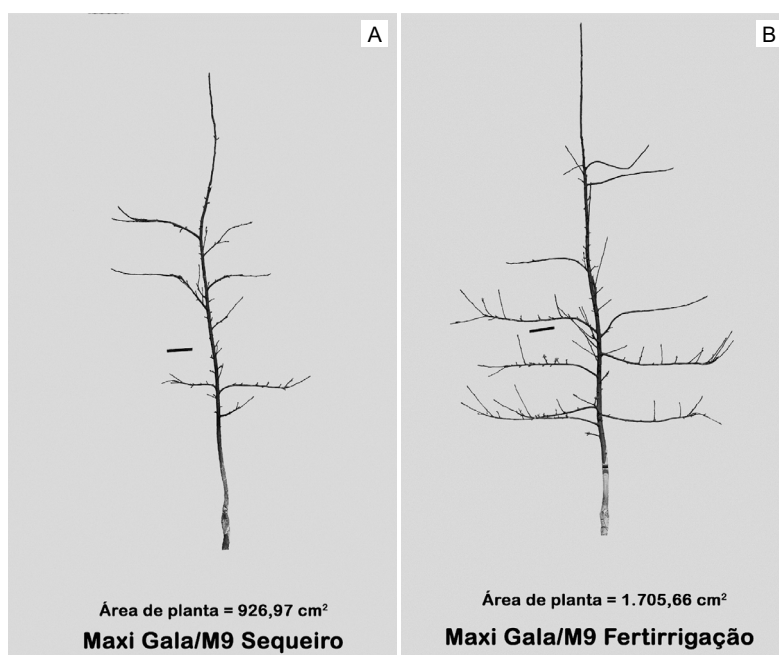


Figura 3. Desenvolvimento vegetativo em plantas de macieira 'Maxi Gala' sob o porta-enxerto 'M9', no segundo ano após o plantio, em área de sequeiro (A) e com irrigação/fertirrigação (B). Vacaria, RS.
Fonte: Adaptado de Nachtigall (2022).

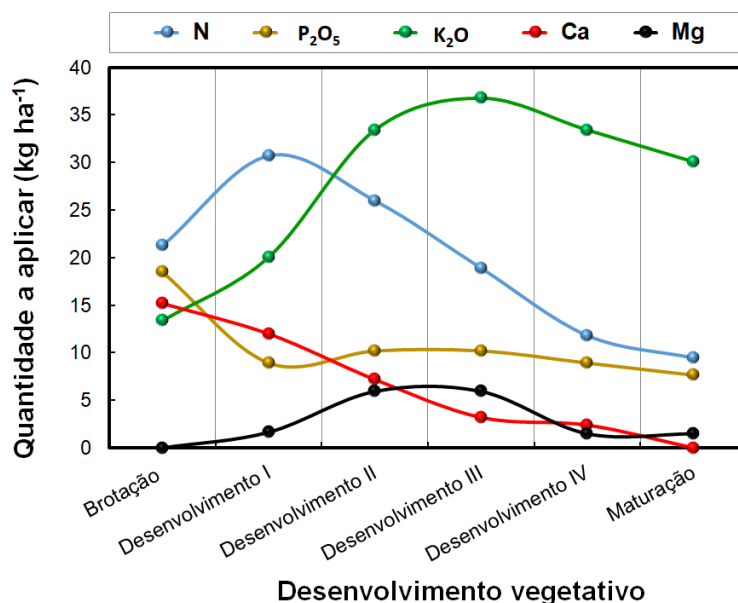


Figura 4. Quantidades a aplicar de N, P₂O₅, K₂O, Ca e Mg, em função da sazonalidade de nutrientes, nas fases do desenvolvimento vegetativo da macieira (Brotação – período de 4 semanas após o início da brotação; Desenvolvimento I – período de 4 semanas após a fase de Brotação; Desenvolvimento II – período de 4 semanas após a fase de Desenvolvimento I; Desenvolvimento III – período de 4 semanas após a fase de Desenvolvimento II; Desenvolvimento IV – período de 5 semanas após a fase de Desenvolvimento III; Maturação – período de 5 semanas após a fase de Desenvolvimento IV, preferencialmente até 2 semanas após a colheita), via fertirrigação, considerando pomar adulto do Grupo ‘Gala’ no espaçamento de 1,00 x 2,75 m e expectativa de produtividade de 75 t ha⁻¹.

Fonte: Adaptado de Nachtigall (2022).

Dada a complexidade de fatores envolvidos na determinação das quantidades de nutrientes a serem aplicadas via fertirrigação em cada uma das fases de desenvolvimento vegetativo da macieira para as condições do sul do Brasil, a Embrapa Uva e Vinho em parceria com a empresa Agrimar desenvolveu um aplicativo para ajustar estas recomendações.

Instalação do sistema de irrigação

A elaboração dos projetos de irrigação e fertirrigação devem ser feitos por profissional capacitado e com o devido planejamento prévio, de modo a atender a todos os requisitos necessários ao seu funcionamento, levando em conta a disponibilidade de água, área a ser irrigada/fertirrigada a curto, médio e longo prazo.

A recomendação preconizada pela pesquisa é que sejam instalados sistemas de irrigação localizada, por gotejamento, com gotejadores espaçados em, no máximo, 60 cm entre si, preferencialmente,

junto do plantio das mudas (Figura 5), de forma a permitir a formação adequada do bulbo úmido no solo, em função do tipo de solo predominante nos pomares de macieira. A mangueira de irrigação deve ser esticada em fio de arame à aproximadamente 40–50 cm do solo.

O sistema de irrigação/fertirrigação deve ser instalado de forma independente para cada cultivar, de modo a permitir o manejo diferenciado, considerando a fenologia de cada cultivar (Figura 6). Desta forma, é possível fornecer a água necessária para cada cultivar segundo suas necessidades, sem comprometer o manejo de água da cultivar polinizadora.

Para o manejo da irrigação, é fundamental o monitoramento da disponibilidade de água no solo, de modo a quantificar o momento correto de aplicação, bem como a quantidade a ser utilizada. Para isso, são necessárias informações específicas sobre o tipo de solo, tipo de irrigação, espaçamento utilizado no pomar e as cultivares plantadas. Os resultados mostram que o monitoramento da tensão da água no solo, por meio da tensiometria, é eficiente para manter os índices de umidade do solo adequados para a cultura da macieira.



Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall

Figura 5. Implantação de pomar de macieira, incluindo o sistema de irrigação por gotejamento. Vacaria, RS.

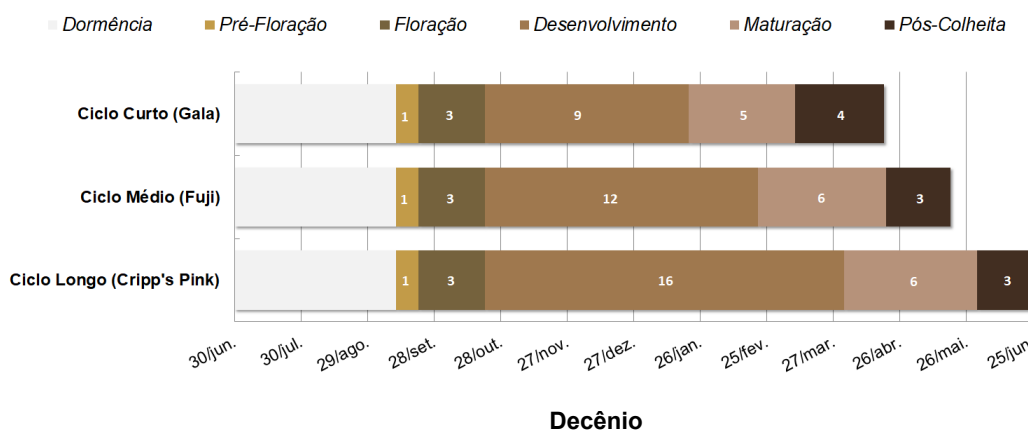


Figura 6. Fenologia de cultivares de ciclo curto, médio e longo em regiões de alto acúmulo de frio.

Monitoramento da umidade do solo

Para o manejo da irrigação, é fundamental o monitoramento da disponibilidade de água no solo, de modo a quantificar o momento correto de aplicação, bem como a quantidade a ser utilizada. A quantidade de água que deve ser aplicada por irrigação, refere-se à quantidade de água necessária para que o solo retorne a sua condição de capacidade de campo na camada de solo onde está presente o sistema radicular da planta. Essa quantidade pode

ser determinada, com base na avaliação da disponibilidade atual de água no solo ou na quantidade de água evapotranspirada pela cultura em um determinado período (Marouelli et al., 2011).

Para isso, são necessárias informações específicas sobre o tipo de solo, tipo de irrigação, condições meteorológicas, espaçamento utilizado no pomar e as cultivares plantadas. A determinação do momento certo a aplicar e da quantidade de água a aplicar por irrigação pode ser feita levando-se em conta as condições climáticas e de solo.

Vários são os indicadores disponíveis para a determinação do momento de irrigar, bem como da

quantidade de água a ser aplicada, conforme descritos a seguir:

- Indicadores de manejo com base na atmosfera (evapotranspiração).
- Indicadores de manejo com base no solo.

Indicadores de manejo de irrigação com base na atmosfera

Quando se opta por utilizar indicadores para o manejo da irrigação com base na atmosfera, o uso de algumas variáveis climáticas é de fundamental importância para estabelecer a recomendação da quantidade de água a aplicar, uma vez que é possível estimar, de forma indireta, a evapotranspiração da cultura (ET_c) e, conseqüentemente, a quantidade de água a ser reposta ao solo via irrigação, levando em conta a precipitação efetiva no período avaliado.

A ET_c pode ser determinada de forma direta, através do uso de lisímetros, contudo, em função dos cuidados necessários na sua operação e pelo altos custos de instalação, estes são utilizados basicamente para experimentação agrícola. De forma indireta, é possível estimar a ET_c através da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c):

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (1)$$

em que ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}), K_c o coeficiente de cultura (adimensional) e ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

A ET_o expressa a influência do clima sobre a cultura de referência (grama-batatais), sendo determinada por métodos que se baseiam em dados climáticos (Marouelli et al., 2011). Desta forma, a escolha do método a ser utilizado para determinação da ET_o depende da disponibilidade de dados climáticos e da precisão desejada. O método Penman-Monteith, segundo parametrização da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (Allen et al., 1998), é considerado como padrão internacional.

Para a cultura da macieira no sul do Brasil já se tem estabelecido os índices do coeficiente de cultura (K_c), cujos valores apresentaram tendência quadrática, variando entre 0,19 e 0,88, com média igual a 0,58 (Conceição et al., 2011a) (Figura 7).

Para as condições do sul do Brasil, a grande dificuldade para o uso destes indicadores é a obtenção de informações meteorológicas locais, já que a rede de estações meteorológicas da região é limitada, de modo que o uso de informações médias de variáveis climáticas reduz a precisão da estimativa da quantidade de água a aplicar por irrigação na cultura da macieira.

Deve-se deixar claro que a determinação da ET_c a partir de fatores climáticos, por si só, não possibilita determinar quando as irrigações devem ser realizadas. Essa limitação pode ser resolvida quando se dispõe de informações sobre a capacidade de retenção de água pelo solo.

Para estas situações, o momento de irrigar pode ser definido de duas formas: a) estabelecendo-se

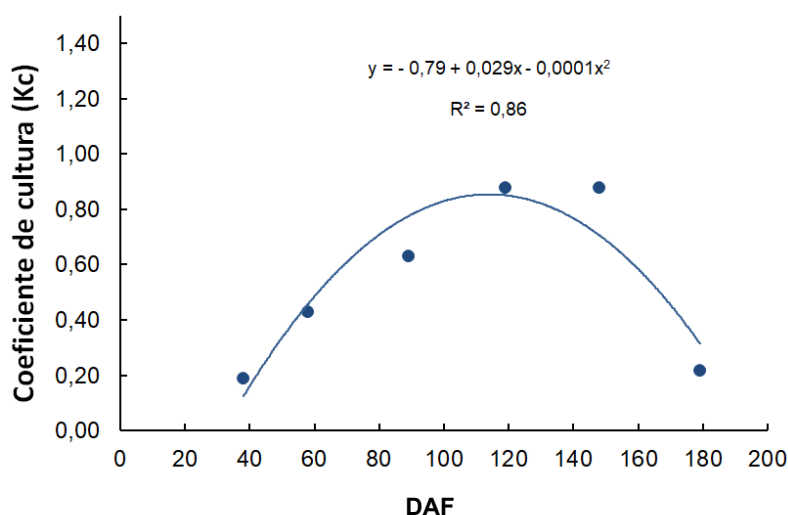


Figura 7. Coeficiente de cultura (K_c) e dia após floração (DAF) para a cultura da macieira no sul do Brasil. Vacaria, RS.
Fonte: Adaptado de Conceição et al. (2011a).

um turno de rega fixo para cada estágio de desenvolvimento da cultura a partir da relação entre a lâmina real de água disponível no solo (LRD) e a ET_c; b) por meio do balanço de água no solo, de modo que as irrigações são feitas quando o somatório das evapotranspirações (menos as precipitações efetivas) atingir o valor de LRD (Marouelli et al., 2011).

A LRD é geralmente determinada utilizando-se a seguinte equação:

$$LRD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times Z_r \times f_{Am} \times f_r \quad (2)$$

em que *LRD* representa a lâmina total de água disponível no solo para as plantas (mm), θ_{CC} a umidade do solo correspondente à capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), θ_{PMP} a umidade do solo correspondente ao ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), Z_r a espessura da camada de solo, correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (mm), f_{Am} a fração de área molhada (decimal) e f_r o fator de reposição de água ao solo (decimal).

Indicadores de manejo de irrigação com base no solo

Informações sobre o teor de água do solo existente na zona radicular das plantas, bem como sobre a energia com que a água está retida no solo, têm sido uma das estratégias mais utilizadas para definição do momento de irrigar. Esses indicadores podem ser expressos por meio do teor de água no solo, tensão de água no solo e/ou uma junção dos dois, utilizando-se a curva de retenção de água no solo.

O potencial da água no solo (Ψ) é definido por diversas forças, resultantes das forças gravitacional, mátrica, pressão e osmótica, que constituem o potencial gravitacional (Ψ_g), potencial mátrico (Ψ_m), potencial de pressão (Ψ_p) e potencial osmótico (Ψ_o), respectivamente:

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_o \quad (3)$$

A força gravitacional, que constitui o potencial gravitacional (Ψ_g), representa a atração gravitacional (“força”) que atua na água do solo em direção ao centro da Terra. Já a atração da água pelas superfícies sólidas do solo constitui o potencial matricial (Ψ_m). Este potencial sempre é negativo, uma vez que a água atraída pela estrutura do solo tem estado de energia menor que o da água pura. O potencial de pressão (Ψ_p) é um componente que só é considerado em áreas saturadas, não atuando em condições de solos não saturados. O potencial

osmótico (Ψ_o) representa os efeitos da presença de solutos na solução de solo.

A tensão de água na matriz do solo (que representa o valor positivo do potencial matricial) é descrita como um importante indicador de disponibilidade de água para as plantas, uma vez que representa o estado da energia da água que esta ligada a matriz do solo, podendo ser definida como uma medida da quantidade de energia que as plantas necessitam utilizar para extrair a água do solo (Smajstrla; Pitts, 1997).

Medidas da tensão em diferentes profundidades do solo permitem ainda estimar a quantidade de água a ser aplicada por irrigação, seja de forma empírica (por tentativa, com auxílio dos sensores), ou a partir da curva de retenção de água no solo (curva característica).

Para o correto manejo do suprimento e do movimento da água no solo é importante ter conhecimento da quantidade de água presente (conteúdo de umidade, Ψ) e do estado de energia da água (potencial da água no solo, Ψ). Existe uma relação inversa entre o conteúdo de água no solo (Ψ) e a energia com que a água é retida no solo (Ψ), descrita como curva característica da água no solo. Solos com diferentes características físicas e químicas possuem curvas características da água no solo distintas, que devem ser consideradas no manejo da irrigação (Figura 8).

Entre os métodos para medir a tensão de água no solo, o tensiômetro é ainda, provavelmente, o sensor mais utilizado para medição do estado da água no solo (Evet, 2007), cujas vantagens comparativas podem ser descritas como: a) medida direta e em tempo real da tensão de água no solo, sendo a umidade estimada indiretamente; b) custo relativamente baixo; c) facilidade de ser encontrado no mercado. Os tensiômetros de punção não dispõem de vacuômetro acoplado, de modo que a leitura é realizada por meio de um tensímetro (digitais ou analógicos).

A eficiência dos tensiômetros depende da correta instalação e manutenção no pomar. Informações teóricas e práticas sobre tensiômetros e seu uso podem ser encontradas em Nachtigall (2025) e Libardi (1993).

A leitura obtida pelos tensiômetros com vacuômetro metálico ou através de tensímetros digitais corresponde à soma do potencial matricial (Ψ_m) com o potencial gravitacional (Ψ_g). Desta forma, para se calcular a tensão matricial de água no solo, deve-se subtrair da leitura realizada nos tensiômetros o valor

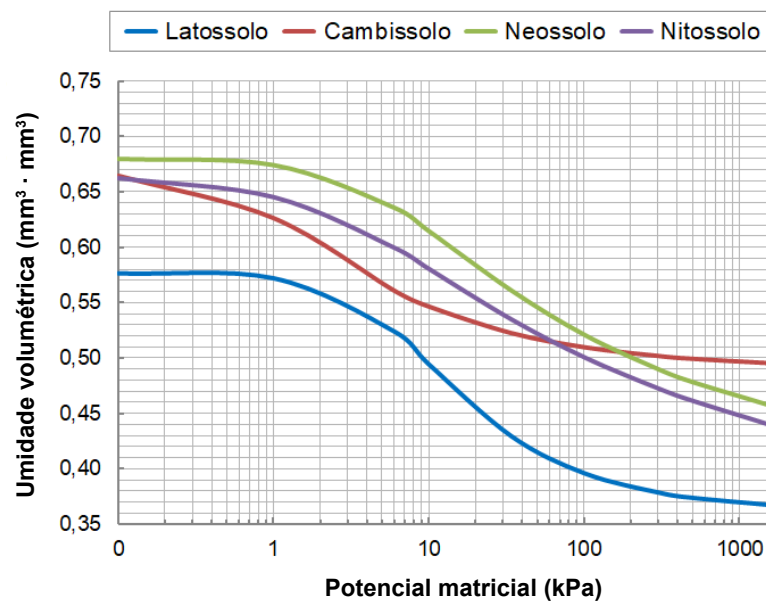


Figura 8. Relação entre o potencial matricial (medida do tensímetro) e a umidade dos solos Latossolo, Cambissolo, Neossolo e Nitossolo cultivados com macieira no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.
Fonte: Adaptado de Conceição et al., (2011b); Bortolini (2016).

correspondente ao potencial gravitacional, expressa pela equação abaixo:

$$Tm = L - Tg = L - 0,098 \text{ H\acute{a}gua} \quad (4)$$

em que Tm é a tensão de água na matriz do solo (kPa), L a leitura no vacuômetro ou tensímetro (kPa), Tg o potencial gravitacional de água no solo (kPa) e $H\acute{a}gua$ a altura da coluna de água no tensiômetro (cm), considerando-se o centro da cápsula.

Uma vez obtida a tensão de água na matriz do solo (kPa), e de posse das informações da curva característica do solo do pomar, é possível calcular a umidade do solo no momento da avaliação e, desta forma, estimar se é necessário ou não aplicar água via irrigação.

O cálculo da quantidade de água a aplicar via sistema de irrigação é obtido através da seguinte fórmula:

$$QA = (\theta_{cc} - \theta_{ua}) \times Zr \quad (5)$$

onde QA representa a quantidade de água a aplicar, θ_{cc} a umidade do solo na capacidade de campo, θ_{ua} a umidade do solo atual e Zr a profundidade do sistema radicular no solo. Desta forma, é possível realizar o acompanhamento da umidade do solo do pomar diariamente, bem como realizar o manejo da irrigação de forma correta.

Ferramentas de monitoramento da irrigação e fertirrigação

Para garantir a manutenção da qualidade de entrega programada de nutrientes para a fertirrigação é de fundamental importância o acompanhamento periódico da dinâmica da solução nutritiva do solo em diferentes profundidades. Desta forma, a análise dos parâmetros relacionados a esta dinâmica permite avaliar a eficiência do programa nutricional, identificando e corrigindo situações de excessos, deficiências ou perdas por lixiviação. Dessa forma, para que haja um eficiente acompanhamento da solução do solo e sua interação com meio, aplicam-se as ferramentas de monitoramento da umidade do solo e da solução nutritiva aplicada, as quais fornecem condições de acompanhar a situação atual do manejo realizado e auxiliar na tomada de decisão com maior assertividade.

A seguir serão apresentadas as principais ferramentas existentes para o monitoramento da umidade do solo e da solução nutritiva aplicada via fertirrigação.

Tensiômetro

O tensiômetro tem como função verificar a umidade do solo e auxiliar na tomada de decisão quanto à intensidade e frequência de irrigação. Essa ferramenta deverá ser instalada a diferentes profundidades para identificar o volume de água disponível dentro do bulbo úmido e em outras profundidades do solo.

A constituição física dessa ferramenta é composta por um tubo de policloreto de vinila (PVC) com cápsula porosa numa extremidade e um anel de vedação acoplada a um manômetro na outra, denominado tensiômetro analógico (ou vacuômetro), ou por um tubo de PVC com cápsula porosa numa extremidade e borracha de vedação, denominado tensiômetro digital de punção (Figura 9). Beraldo (2011), estudando tensiômetro em ciclos de umedecimento/secagem em Latossolos, obteve umidades estatisticamente semelhantes para o tensiômetro analógico e tensiômetro digital de punção.

O tensiômetro deverá ser mantido com o tubo sempre cheio de água para que se quantifique a força ou tensão de equilíbrio com o solo, quanto menor a umidade do solo maior será a tensão apresentada na leitura do manômetro ou tensímetro. As leituras no tensiômetro devem ser periódicas, preferencialmente diárias, de modo a diagnosticar as variações de umidade do solo no pomar. As referências de leituras do tensiômetro que determinam momentos de iniciar ou finalizar as irrigações estão estritamente relacionadas às características do solo, de modo que o sucesso na utilização dessa ferramenta depende do conhecimento do tipo do solo do pomar.

Irrigômetro

Ferramenta que tem como objetivo coletar a solução de entrada ofertada para as plantas via fertirrigação (Figura 10). Quando se realiza uma fertirrigação, o processo passa por algumas etapas padrões para garantir o volume de aplicação. O primeiro passo é a pressurização do sistema, etapa importante para garantir que haja água e pressão uniformes por toda a linha de gotejo, nessa fase deve-se assegurar a uniformidade de vazão em todo o sistema. O segundo passo é a injeção de água, visando criar uma frente de molhamento no solo, a qual facilitará o fluxo dos nutrientes no perfil do solo. O terceiro passo corresponde à entrada da solução nutritiva dissolvida na caixa de injeção, nas quantidades definidas no programa de fertirrigação do pomar. O quarto passo envolve a entrada de somente água, para que haja a limpeza do sistema e garanta



Figura 9. Exemplo de tensiômetro de punção para uso com tensímetro digital de agulha e de tensiômetro analógico com manômetro, utilizados para monitoramento da tensão da água no solo.

a entrega da solução nutritiva em sua totalidade para o setor. A solução formada nesse processo é conhecida como solução de entrada.

Essa ferramenta consiste da confecção de uma derivação na linha de gotejo central do setor, através da utilização de uma conexão em T ligada a um metro linear da mesma fita de gotejo utilizada no sistema de irrigação com um tampão na sua ponta. Essa fita de derivação deverá ser inserida no interior de um cano rígido para que se consiga coletar em um recipiente tampado a solução de todos os gotejadores da derivação. O comprimento conhecido da derivação é importante para que se defina o número de gotejadores existentes, de modo a quantificar o volume de solução de entrada coletado.

A aplicação do irrigômetro fornece informações da vazão geral do sistema no período de uma fertirrigação. Ainda é possível analisar a condutividade elétrica e o pH da solução de entrada, que pode indicar o que está efetivamente sendo disponibilizada para as plantas.

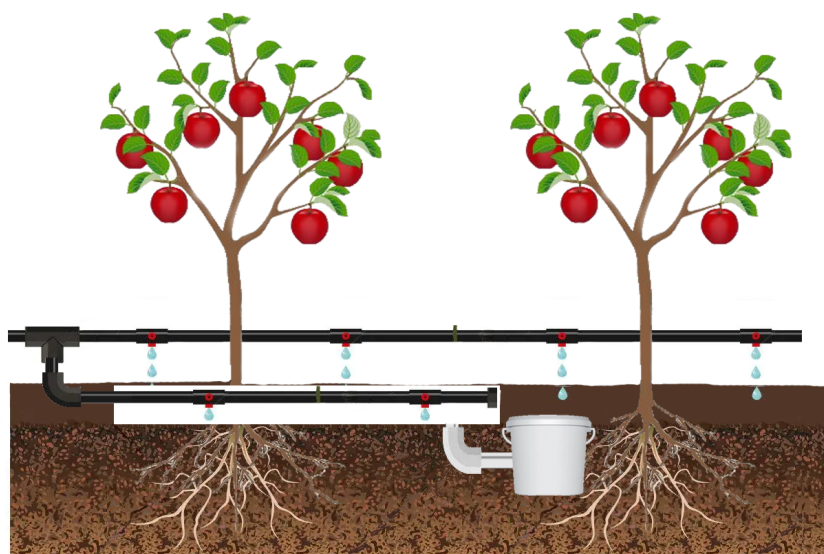


Figura 10. Exemplo esquemático de irrigômetro, composto de uma conexão em “T” ligada a um metro linear de fita de gotejo, inserida no interior de um cano rígido conectado a um recipiente tampado.

Ilustração: Gilmar Ribeiro Nachtigall

O pH da solução de entrada deve ser mantido entre 5,5 e 6,0, uma vez que para valores de pH acima de 7,5, pode ocorrer precipitação de carbonatos de cálcio e de magnésio, provocando entupimento dos emissores (Coelho et al., 2000; Sousa et al., 1999). A condutividade elétrica na solução de entrada depende do tipo e da concentração de sais utilizados. A condutividade elétrica da água de irrigação, após a adição da solução de fertilizantes, não deve ultrapassar $2,0 \text{ mS m}^{-1}$ (Medeiros et al., 2011).

Extrator de solução do solo

Uma vez que seja finalizada a entrega da solução de entrada essa se difunde pelo perfil do solo e passa a fazer parte da solução do solo. Desta forma, é de fundamental importância acompanhar sua distribuição no perfil do solo, bem como suas características químicas, por exemplo, condutividade elétrica, pH e concentração de nutrientes.

A constituição física do extrator de solução é muito similar à do tensiômetro, sendo também constituído por um tubo de PVC com cápsula porosa numa extremidade e uma estrutura de vedação na outra, tendo uma mangueira com um registro no seu interior (Figura 11). O funcionamento do extrator de solução ocorre pela geração de vácuo no seu interior, possibilitando a extração da solução do solo tal como fazem as plantas. Para criar esse ambiente

de vácuo é feito o uso de uma seringa acoplada ao registro. Através do registro é definido o fluxo de ar (vácuo) e água no interior do extrator. Da mesma forma que para o tensiômetro, o extrator de solução deverá ser instalado a diferentes profundidades para identificar quais os valores de pH, condutividade elétrica e concentração de nutrientes em cada uma delas.

O extrato da solução do solo apresenta características químicas distintas da solução de entrada fornecida pela fertirrigação, já que seus valores expressam a dinâmica entre a solução de entrada com as características físico-químicas do solo e sua

Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall



Figura 11. Exemplo de extrator de solução do solo, utilizados para monitoramento da condutividade elétrica, pH e concentração de nutrientes na solução do solo.

interação com a planta. As leituras dos valores de condutividade elétrica nos diferentes extratos do solo possibilitam identificar desequilíbrios provocados no sistema, como por exemplo, acúmulo de sais em camadas superficiais ou perda de nutrientes para camadas mais profundas, por lixiviação.

Através das leituras de pH na solução do solo é possível verificar se este está se mantendo na faixa ótima para absorção de nutrientes (5,5 a 6,5). De maneira geral os nutrientes aumentam seu grau de disponibilidade conforme o meio se torna levemente ácido, o único que não segue essa regra geral é molibdênio (Mo), que se torna mais disponível em pH alcalino. A Figura 12 apresenta a dinâmica de disponibilidade dos nutrientes de acordo com a faixa de pH.

O diagnóstico da concentração de nutrientes na solução do solo permite verificar se a intensidade da fertirrigação está sendo suficiente para suprir a demanda da planta. Tais informações auxiliam na tomada de decisão sobre o manejo da irrigação, do programa nutricional e do melhor momento de entrega da solução de entrada.

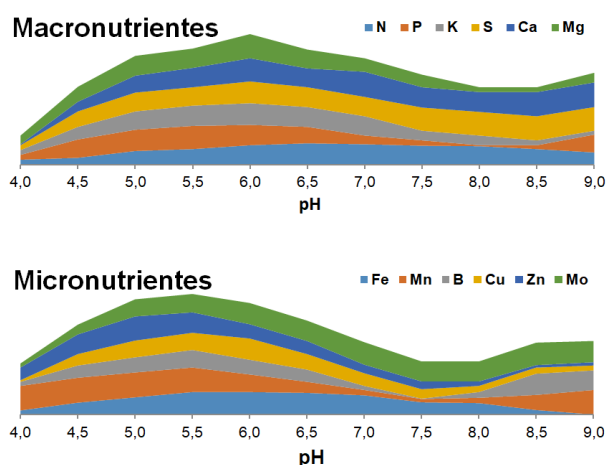


Figura 12. Influência do pH na disponibilidade de nutrientes.

Fonte: Adaptado de Taiz et al. (2017).

A análise da concentração de nutrientes na solução do solo pode ser feita através do envio de uma amostra da solução para um laboratório para análise química, porém os resultados podem demorar e assim se perde a oportunidade de correções e ajustes no programa nutricional proposto. Outra opção é o uso local de kits de leitura de solução. Estes procedimentos permitem a leitura instantânea de cada nutriente isoladamente, através de sensores ou eletrodos que

medem individualmente cada nutriente ou na forma de sondas multi-íons, que permitem quantificar simultaneamente a concentração de vários íons na mesma amostra. Atualmente já existem membranas íon-seletivas disponíveis para a maioria dos nutrientes importantes do solo, incluindo nitrato (NO_3), potássio (K), sódio (Na) e cálcio (Ca) (Tsukada et al., 1989; Knoll et al., 1994; Levitchev et al., 1998).

Uso do aplicativo

Para facilitar o manejo da irrigação/fertirrigação por gotejamento em pomares de macieira, a Embrapa Uva e Vinho em parceria com a empresa Agrimar disponibilizaram um aplicativo, desenvolvido para a web e para smartphones com sistema operacional Android, denominado “Irrifert Irrigação/Fertirrigação Maçã” (Figura 13), o qual, a partir das informações do sistema de irrigação, tipo de solo e das leituras dos tensiômetros, do tipo de manejo do pomar, idade do pomar, cultivar e porta-enxerto utilizado, permite definir o momento de irrigar e o tempo necessário para aplicar a quantidade necessária à cultura, bem como as quantidades necessárias de nutrientes e a seleção de fertilizantes, conforme as necessidades estabelecidas para cada fase do desenvolvimento vegetativo das plantas de macieira. O aplicativo foi registrado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) com o Certificado nº BR512025000049-9 (Nachtigall; Tonet, 2025).

Instalação

O aplicativo não requer instalação, basta acessar o site¹ do aplicativo e realizar o login de usuário, no caso de já estar cadastrado ou, caso seja o primeiro acesso ao aplicativo, realizar o registro de novo usuário (Figura 14).

Antes de iniciar o uso do aplicativo, o usuário deve aceitar os “Termos de Uso do Aplicativo” e a “Política de Privacidade”, onde são definidas as regras que o usuário está sujeito ao utilizar o aplicativo, bem como o compromisso da forma de tratamento dos dados, de modo que seja transparente para com o titular dos dados pessoais.

Destaca-se que o aplicativo tem apenas o objetivo de auxiliar no manejo de água via irrigação por gotejamento, bem como de sugerir situações de manejo de fertilizantes via fertirrigação em macieira, devendo o usuário buscar orientações técnicas de um agrônomo, visando subsidiar as recomendações

¹ Disponível em ia.irrifert.app.br.

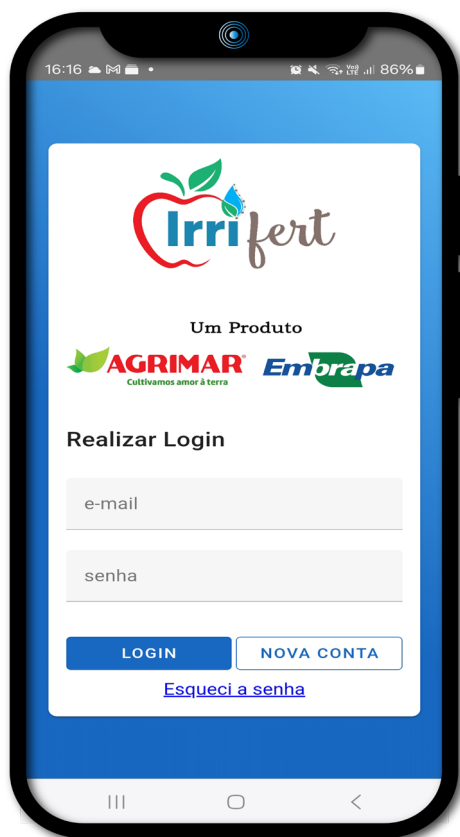


Figura 13. Tela inicial do aplicativo “Irrifert Irrigação/Fertirrigação Maçã”, desenvolvido para a gestão da irrigação/fertirrigação em macieira.

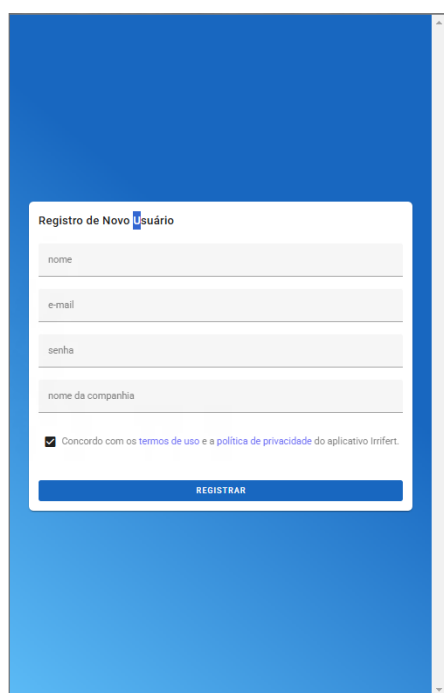


Figura 14. Tela de registro de novo usuário, para o caso de primeiro acesso ao aplicativo.

técnicas de manejo de água e nutrientes no pomar de macieira.

O menu inicial do aplicativo mostra seis opções de navegação (Figura 15):

- Minha conta — Gerenciamento das informações do usuário, usuários secundários e de áreas com irrigação/fertirrigação já cadastradas.
- Página inicial: Página de apresentação do aplicativo.
- Simulação — Simulação de aumento de produção com o uso da irrigação/fertirrigação.
- Sistema de produção — Cadastro de informações técnicas do pomar.
- Sistema de irrigação — Cadastro de informações técnicas da irrigação, monitoramento da umidade do solo e relatório para tomada de decisão.
- Sistema de fertirrigação — Cadastro de informações técnicas da fertirrigação, sugestão de manejo nutricional e relatório para tomada de decisão.

Para aquisição dos módulos de irrigação e fertirrigação, o usuário, após realizar o *login* e realizar o cadastro do Pomar, Quadras e Setores de Irrigação, deverá realizar a compra da licença de uso anual através do ícone “Minha Conta”, no Menu Inicial, na opção “Gerenciar Áreas Irrigadas/Fertirrigadas”.

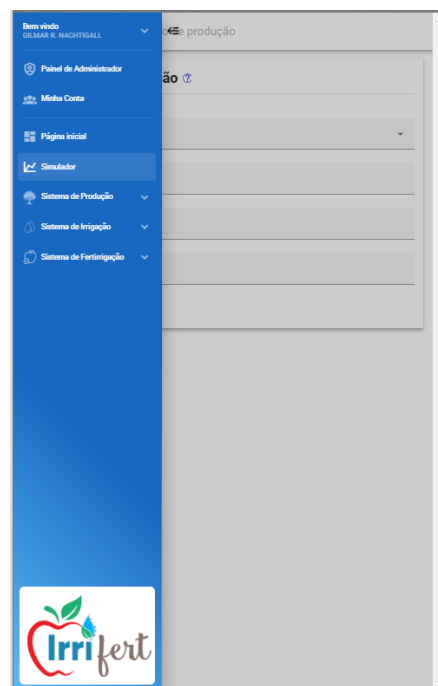


Figura 15. Tela inicial do aplicativo, mostrando menu com seis opções de navegação: Minha Conta, Página inicial, Simulação, Sistema de Produção, Sistema de Irrigação e Sistema de Fertirrigação.

Minha conta

O titular da conta poderá gerenciar as informações da conta, bem como cadastrar outros usuários com atribuições secundárias (Figura 16), os quais poderão acessar os campos relacionados à entrada de dados e verificação de relatórios. Os usuários secundários não poderão alterar as informações do Sistema de Produção, cujas informações são de responsabilidade do titular da conta. Além disso, o titular da conta poderá gerenciar as áreas irrigadas/fertirrigadas do pomar para as quais já tem a licença de uso do aplicativo e de áreas ainda pendentes de aquisição (gerenciar pagamentos).

NOME	STATUS	QUANTIA	MÉTODO DE PAGAMENTO	DATA DO PAGAMENTO	ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO
Pagamento	approved	R\$ 1000	CARTÃO	22/07/24 - 19:44:58	22/07/24 - 19:44:58
Pagamento	rejected	R\$ 1000	CARTÃO	22/07/24 - 19:40:51	22/07/24 - 19:40:51
Pagamento	rejected	R\$ 2000	CARTÃO	22/07/24 - 16:22:20	22/07/24 - 16:22:20

Figura 16. Tela de gestão da conta principal cadastrada, feito pelo titular da conta.

Simulação de ganho de produção

Mesmo antes da aquisição do aplicativo, o usuário poderá fazer simulações dos efeitos positivos da irrigação/fertirrigação na produtividade de um pomar de macieira. Estas simulações são unicamente ilustrativas, baseadas em informações experimentais, estando sujeitas à variações em função do tipo de solo, condições climáticas e manejo do pomar. Para isso, basta acessar o aplicativo e incluir as informações da cultivar utilizada, da produtividade média atual (ou esperada) do pomar no sistema sequeiro, informar a data de plantio e a data de implantação do sistema de irrigação e gerar a simulação (Figura 17).

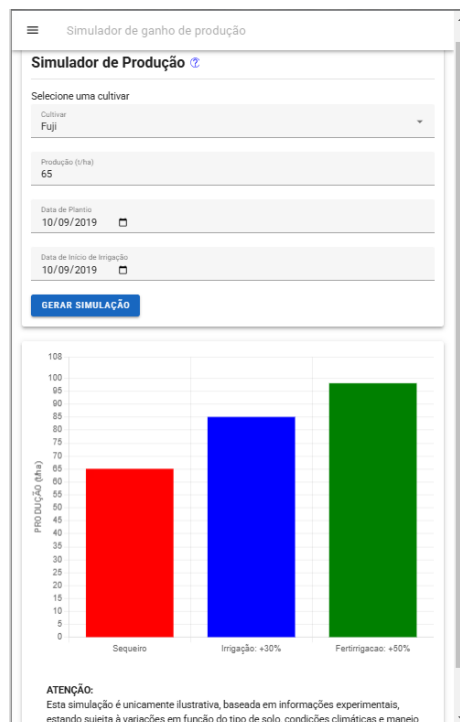


Figura 17. Tela de simulações dos efeitos positivos da irrigação/fertirrigação na produtividade de um pomar de macieira, baseadas em informações experimentais, estando sujeitas a variações em função do tipo de solo, condições climáticas e manejo do pomar.

Sistema de produção

No menu Sistema de Produção são definidas todas as informações técnicas referentes ao pomar, quadras, setores que o usuário deseja cadastrar no sistema, bem como das características das baterias de tensiômetros que farão o monitoramento da umidade do solo, visando definir a quantidade e o momento da irrigação no pomar. Em todos os campos principais do aplicativo são disponibilizadas informações de ajuda ao usuário, através do ícone (?).

Cadastro de pomares

Nesta aba é feito o cadastro do pomar que o titular da conta deseja cadastrar. O conceito técnico de pomar representa a área produtiva do produtor, composta por subunidades (Quadras) e estas por sub-subunidades (Setores). Para pomares pequenos a estrutura de Quadras e Setores pode ter o mesmo significado. Após definido o nome do pomar, basta clicar no botão “Registrar” (Figura 18). Poderão ser incluídos mais de um pomar, bem como utilizar as opções “Alterar” e “Excluir” pomares.

Figura 18. Tela de cadastro de Pomar, feito pelo titular da conta.

Figura 19. Tela de cadastro de Quadra, feito pelo titular da conta.

Cadastro de quadras

Para o cadastro da quadra (Figura 19), primeiro é necessário selecionar o Pomar (utilizar o menu suspenso) para o qual se deseja cadastrar quadras. A seguir é cadastrado o nome da quadra, o tamanho (ha) e a data de plantio. Os passos seguintes envolvem a seleção no menu suspenso da primeira cultivar (cultivar principal ou predominante), a seleção do porta-enxerto (no menu suspenso) desta primeira cultivar e os dados de espaçamento (entre linhas e entre plantas). A seguir são cadastradas as mesmas informações para a cultivar secundária (cultivar polinizadora). Após o preenchimento de todos os campos, basta clicar no botão “Registrar”. Poderão ser incluídas mais de uma quadra por pomar. Estão disponíveis também as opções “Alterar” e “Excluir” quadras.

Cadastro de setores de irrigação

Para o cadastro de setor (Figura 20), primeiro é necessário selecionar o pomar (utilizar o menu suspenso), após selecionar a quadra (utilizar o menu suspenso) para o qual se deseja cadastrar o setor. A seguir é cadastrado o nome do setor e as informações técnicas necessárias para o manejo da irrigação:

- Tipo de solo (utilizar o menu suspenso) — Atualmente o sistema está ajustado para quatro tipos de solo – Latossolos, Cambissolos, Neossolos e Nitossolos, que são os principais solos onde são cultivadas macieiras no sul do Brasil.

- Tipo de sistema de irrigação (utilizar o menu suspenso) — Atualmente o sistema está ajustado para dois tipos de sistema de irrigação – gotejamento e microaspersão.
- Definir o valor adotado para a Capacidade de Campo (kPa) para o tipo de solo do pomar — A Capacidade de Campo refere-se à quantidade máxima de água que um solo pode reter quando

Figura 20. Tela de cadastro de Setor, feito pelo titular da conta.

a maior parte de seus poros estiver cheia de água.

- Definir o tempo máximo (horas) que será irrigado o setor — Visando permitir que todos os setores recebam a demanda de água diária necessária (Exemplo: 24 horas de irrigação/3 setores a irrigar = 8 horas).
- Definir o valor adotado para “Momento a irrigar” (kPa) — Que representa o limite mínimo da tensão no solo, a partir do qual deve iniciar a irrigação.
- Profundidade do sistema radicular (cm) — Refere-se à profundidade na qual se concentram a maioria das raízes da macieira.
- Espaçamento (m) dos emissores (gotejadores) — Refere-se à distância entre os emissores da mangueira gotejadora ou emissores da microaspersão.
- Vazão (litros/hora) dos emissores (gotejadores ou microaspersores) — Refere-se à quantidade de água por unidade de tempo que cada emissor deixa passar para o sistema externo.
- Tempo de pressurização (min) — Refere-se ao tempo necessário para que o ar seja expulso das mangueiras com emissores, após ligar o sistema de bombas de irrigação.

Após o preenchimento de todos os campos, basta clicar no botão “Registrar”. Poderão ser incluídos mais de um setor por quadra. Estão disponíveis também as opções “Alterar” e “Excluir” setores.

Cadastro de tensiômetros

Cada setor de cada quadra do pomar deve conter, pelo menos, uma bateria de tensiômetros para que possam monitorar a umidade do solo nas camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm.

Para o cadastro da bateria de tensiômetros (Figura 21), primeiro é necessário selecionar o pomar (utilizar o menu suspenso), o próximo passo é selecionar a quadra (utilizar o menu suspenso), após é necessário selecionar o setor (utilizar o menu suspenso) para o qual se deseja cadastrar a bateria de tensiômetros. A seguir é cadastrado o nome desta e a informação da altura da coluna de água de cada tensiômetro (cm), considerando-se como medida a distância da marca d'água no tubo transparente até o centro da cápsula (Exemplo: tamanho do tensiômetro 1 = 32 cm).

Após o preenchimento de todos os campos, basta clicar no botão “Registrar”. Poderão ser incluídas mais de uma bateria de tensiômetros por setor em cada quadra por pomar. Estão disponíveis também as opções “Alterar” e “Excluir”.

nome	tamanho do tensiômetro 1 (cm)	tamanho do tensiômetro 2 (cm)	tamanho do tensiômetro 3 (cm)	excluir
Bateria 1	32	52	72	

Figura 21. Tela de cadastro de baterias de tensiômetros, feito pelo titular da conta.

Sistema de irrigação

Leitura diária dos tensiômetros

Após selecionar o pomar (utilizar o menu suspenso) e a data de inclusão dos dados, o aplicativo disponibilizará um campo para a inclusão do volume de chuva (mm) entre a leitura anterior e a atual dos tensiômetros. Ao mesmo tempo, disponibilizará abas para todos os setores e baterias de tensiômetros cadastrados, visando a inclusão dos dados das leituras diárias dos tensiômetros (kPa) (Figura 22).

As leituras diárias dos tensiômetros irão gerar informações para o manejo da irrigação nas áreas irrigadas, permitindo definir se existe a necessidade de irrigação, bem como a quantidade de água a ser aplicada (se necessário).

As unidades de medida dos tensiômetros são geralmente expressas em kPa, centibar (cBar), milibar (mBar), em que: 1 kPa = 1 cbar = 10 mbar.

O procedimento de leitura dos tensiômetros, através do tensímetro, deve ser realizado, de preferência, diariamente. O técnico de campo deverá tomar todos os cuidados necessários para a manutenção dos tensiômetros, como por exemplo: a) manutenção do nível da água no interior (após a realização da leitura); b) verificação de vazamentos na borracha de vedação; c) verificação de ruptura da cápsula de porcelana (no caso de ruptura da cápsula, os valores ficarão zerados) etc.

Figura 22. Tela de inclusão das leituras das baterias de tensiômetros, feito pelo titular da conta e/ou usuário secundário.

Sugere-se que o período de monitoramento da umidade do solo, através do tensímetro, inicie na fase de “Ponta Verde” das gemas e se prolongue até quatro semanas após a colheita final da cultivar.

Relatórios

O aplicativo prevê a emissão de dois tipos de relatórios, cuja seleção está disponível no menu principal — Relatório e Histórico (Figura 23).

O primeiro relatório traz as informações diárias sobre a necessidade ou não de aplicação de água via irrigação, bem como o tempo necessário para repor a umidade do solo até as condições ideais de cultivo da macieira, para cada setor cadastrado no pomar. Estas informações podem ser geradas no formato PDF, de modo que o usuário possa repassar as informações com a tomada de decisão para o técnico de campo responsável pelo manejo da irrigação, permitindo o arquivamento das ações realizadas no pomar.

O segundo relatório, traz as informações históricas de cada setor do pomar, apresentando graficamente a evolução sazonal da umidade do solo em cada setor irrigado do pomar (expressa em tensão – kPa) e a quantidade de chuva, em um período selecionado previamente. Desta forma, é possível

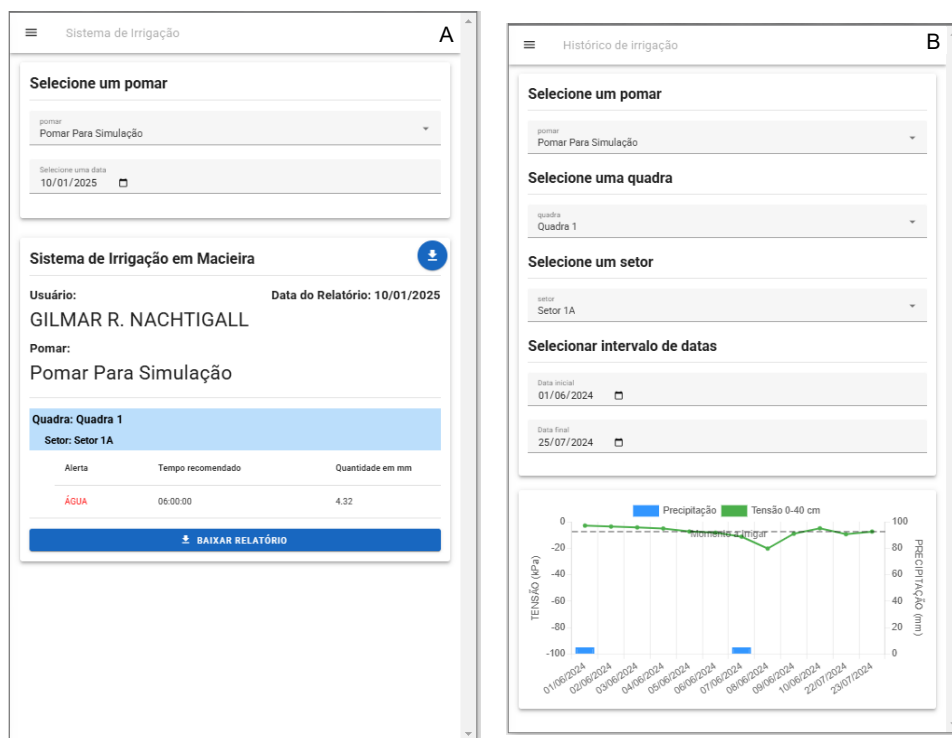


Figura 23. Telas do relatório com as informações diárias sobre a necessidade ou não de aplicação de água via irrigação (A) e do relatório com as informações históricas de cada setor do pomar (B).

acompanhar a eficiência do manejo da irrigação, tendo como parâmetro de referência a umidade do solo (limite mínimo da tensão no solo), a partir do qual deve iniciar a irrigação.

Sistema de fertirrigação

Parâmetros técnicos

Para a definição dos parâmetros técnicos da fertirrigação (Figura 24), primeiro é necessário selecionar o pomar (utilizar o menu suspenso), a quadra (utilizar o menu suspenso) e o setor (utilizar o menu suspenso) para o qual será feito o planejamento da fertirrigação. A seguir, abre-se os campos específicos para a fertirrigação, onde são cadastradas as informações referentes a:

- Escolha da cultivar de macieira (utilizar o menu suspenso) para o qual se deseja estabelecer as quantidades de nutrientes por fase do desenvolvimento vegetativo.
- Produção esperada para a safra que está sendo feito o planejamento da fertirrigação (quantidade de frutas (t/ha) esperada para a cultivar selecionada).
- Área com fertirrigação com a cultivar (ha), visando estabelecer o cálculo de fertilizantes para a área e cultivar selecionada.

Figura 24. Tela de seleção dos parâmetros técnicos da fertirrigação, feito pelo titular da conta e/ou usuário secundário.

- Expectativa de início de floração para a safra que será feita a fertirrigação, visando estabelecer o calendário de aplicação de fertilizantes via irrigação.

Após o preenchimento de todos os campos referentes às informações técnicas da fertirrigação, basta clicar no botão “Confirmar” que será disponibilizada uma nova tela para a seleção de fertilizantes e das quantidades necessárias para cada uma das fases do desenvolvimento vegetativo.

Como padrão, o aplicativo já apresenta uma seleção de fertilizantes e quantidades necessárias (Figura 25), conforme as necessidades estabelecidas para a fase vegetativa. Contudo, o usuário poderá alterar os fertilizantes e suas quantidades, conforme as informações disponíveis na base de dados, tendo o cuidado de ajustar as quantidades de cada nutriente (valores apresentados na faixa cinza, abaixo) às necessidades de nutrientes da fase (valores expressos na faixa superior em azul, acima).

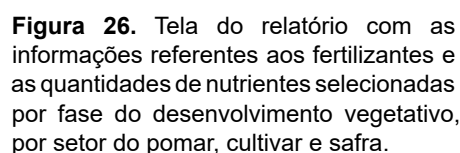
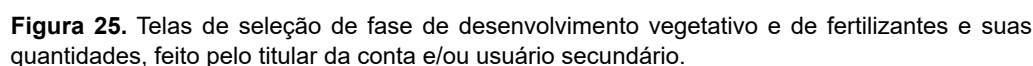
Como forma de orientação ao usuário, o aplicativo gera dois gráficos: o primeiro se refere às quantidades de nutrientes sugeridas por fase de desenvolvimento vegetativo (“Sugestão”), considerando os resultados de pesquisa desenvolvidos com a cultura da macieira; o segundo se refere às quantidades de nutrientes estabelecidas por fase de desenvolvimento vegetativo, em função da seleção, pelo usuário, dos fertilizantes e das quantidades de nutrientes (“Proposta”). A simetria das curvas e as quantidades de nutrientes dos dois gráficos deve ser semelhante, de modo a atender as indicações técnicas para a fertirrigação da cultivar.

Atenção: Considerando que as quantidades de fertilizantes sugeridas foram baseadas na produção esperada, recomenda-se ajustar, caso seja necessário, as quantidades de fertilizantes para a produção estimada, baseada no levantamento realizado após o raleio de frutos.

O período de fertirrigação sugerido inicia duas semanas após a plena floração e termina após a colheita ou, no máximo, três semanas após a colheita final da cultivar.

Relatórios

O aplicativo prevê a visualização de propostas de fertirrigação já previamente cadastradas no sistema (Figura 26). Para isso, o usuário deverá selecionar: o pomar (utilizar o menu suspenso), a quadra (utilizar o menu suspenso), o setor (utilizar o menu suspenso), a cultivar (utilizar o menu suspenso) para o qual se deseja obter o relatório e, por fim, a safra desejada. Desta forma, serão apresentadas



Neste relatório em PDF é apresentado o calendário de aplicações dos fertilizantes por fertirrigação, contendo as quantidades necessárias por fase de desenvolvimento vegetativo, visando facilitar o manejo da fertirrigação no pomar. Desta forma, o técnico de campo poderá gerenciar o processo de aplicação de fertilizantes via fertirrigação no pomar.

O aplicativo prevê a visualização da totalização das necessidades de fertilizantes por pomar e por safra, considerando as informações de fertirrigação já previamente cadastradas no sistema (Figura 27). Após a seleção, serão exibidas as quadras do pomar que possuem o programa de fertirrigação estabelecido. Basta selecionar a quadra e clicar em “Calcular os produtos das quadras selecionadas” que será exibida a relação de todos os fertilizantes necessários e as quantidades totais da safra, para a(s) quadra(s) selecionada(s).

Figura 27. Tela do relatório com as informações referentes aos fertilizantes e as quantidades de nutrientes selecionadas por fase do desenvolvimento vegetativo, por setor do pomar, cultivar e safra.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 56). Disponível em: <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- BERALDO, J. M. G. **Armazenamento de água no solo em sequências de culturas de verão e inverno sob semeadura direta**. 2011. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/105255>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- BEUKES, D. J.; WEBER, H. W. The effects of irrigation at different soil water levels on the water use characteristics of Apple trees. **Journal of Horticultural Science**, v. 57, n. 4, p. 383-391, Jan. 1982. DOI: 10.1080/00221589.1982.11515068.
- BORTOLINI, D. **Estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina**. 2016. Tese. (Doutorado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.
- BRANCO, M. S. C.; NAVA, G.; ERNANI, P. R.; NACHTIGALL, G. R. Efeito da irrigação e fertirrigação na composição mineral de folhas de macieira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis, SC. **Anais [...]**. Florianópolis: SBCS, 2013. CD-ROM. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/975811>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- CHENAFI, A.; MONNEY, P.; ARRIGONI, E.; BOUDOUKHA, A.; CARLEN, C. Influence of irrigation strategies on productivity, fruit quality and soil-plant water status of subsurface drip-irrigated apple trees. **Fruits**, v.71, n. 2, p. 69–78, March/April 2016. DOI: 10.1051/fruits/2015048.
- COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. de; AGUIAR NETTO, A. de O.; OLIVEIRA, A. S. de. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 40). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/640631>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; NACHTIGALL, G. R.; CARGNINO, C.; FIORAVANÇO, J. C. Demanda hídrica e coeficientes de cultura (Kc) para macieiras em Vacaria, RS. **Engenharia Rural, Cienc. Rural**, v. 41, n. 3, 2011a. DOI: 10.1590/S0103-84782011000300015.
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; NACHTIGALL, G. R.; CARGNINO, C.; FIORAVANÇO, J. C.; ANTONIOLLI, L. R. **Fertirrigação da cultura da macieira**. In: NACHTIGALL, G. R. (ed.). **Inovações tecnológicas para o setor da maçã** - Inovamaçã. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2011b. p.199-218. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/910646>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- EVETT, S. R. Soil water and monitoring technology. In: LASCANO, R. J.; SOJKA, R. E. (ed.). **Irrigation of agricultural crops**. 2nd ed. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2007. Chap. 2, p. 25-84. (Agronomy Monograph, 30). DOI:10.2134/agronmonogr30.2ed.c2.
- FALLAHI, E.; FALLAHI, B. Changes in water requirement, yield, and quality under various irrigation and nitrogen levels in 'Fuji' apples. **Acta Hort.**, v.1177, n. 43, p.301–306, 2017. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1177.43.
- FALLAHI, E.; NEILSEN, D.; NEILSEN, G. H.; FALLAHI, B.; SHAFII, B. Efficient irrigation for optimum fruit quality and yield in apples. **HortScience**, v.45, n. 11, p.1616–1625, Nov. 2010. DOI: 10.21273/HORTSCI.45.11.1616.
- HOFFMANN, A.; BERNARDI, J. Aspectos botânicos. In: NACHTIGALL, G. R. (Ed.). **Maçã: produção**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. (Frutas do Brasil, 37). p.17-24.
- HUANG, T.; QI, F.; JI, X.; PENG, Q.; YANG, J.; WANG, M.; PENG, Q. Effect of different irrigation levels on quality parameters of 'Honeycrisp' apples. **J. Sci. Food Agric.**,

v.102, n. 8, p. 3316–3324, June 2022. DOI: 10.1002/jsfa.11678.

KNOLL, M.; CAMMANN, K.; DUMSCHAT, C.; BORCHARDT, M.; HOGG, G. Microfibre matrix-supported ion-selective PVC membranes. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 20, n. 1, p.1–5, May 1994. DOI: 10.1016/0925-4005(93)01164-Y.

LECAROS-ARELLANO, F.; HOLZAPFEL, E.; FERERES, E.; RIVERA, D.; MUÑOZ, N.; JARA, J. Effects of the number of drip laterals on yield and quality of apples grown in two soil types. **Agricultural Water Management**, v. 248, n. 106781, April 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106781.

LEVITCHEV, S.; SMIRNOVA, A.; BRATOV, A.; VLASOV, Y. Electrochemical properties of photocurable membranes for all-solid-state chemical sensors. **Fresenius' Journal of Analytical Chemistry**, v. 361, p. 252–254, June 1998. DOI: 10.1007/s002160050874.

LIBARDI, P. L. **Potenciais da água no solo**. Piracicaba: ESALQ, 1993. 50 p. (Série Didática, 7).

MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, Â. S. de; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. de. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 5, p. 157- 232. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/915574>. Acesso em: 17 jul. 2024.

MAŠÁN, V.; BURG, P.; ČÍŽKOVÁ, A.; SKOUPIL, J.; ZEMÁNEK, P.; VIŠACKI, V. Effects of irrigation and fertigation on yield and quality parameters of 'Gala' and 'Fuji' apple. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 66, n. 5, p. 1183-1190, Oct. 2018. DOI: 10.11118/actaun201866051183.

MEDEIROS, J. F. de; SOUSA, V. F. de; MAIA, C. E.; COELHO, E. F.; MAROUELLI, W. A. Determinação e preparo da solução de fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.) **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 8, p. 267-288. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/915586>. Acesso em: 17 jul. 2024.

NACHTIGALL, G. R. Fertirrigação em fruteiras de clima temperado. In: HAHN, L.; BRUNETTO, G. (org.) **Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas**. Santa Maria: Pallotti, 2022. p. 69- 90.

NACHTIGALL, G. R. Irrigação e fertirrigação em pomares de macieira nas condições do sul do Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL

SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 13., 2018. **Anais [...]**. São Joaquim, SC: SENAFRUT, 12 a 14 de junho, 2018. Agropecuária Catarinense, Suplemento Especial, v. 31, n. 2, mai./ago. 2018. p.49-56. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1098019>. Acesso em: 17 jul. 2024.

NACHTIGALL, G. R.; CARGNINO, C.; LIMA, C. M. de. **Irrigação e fertirrigação na cultura da macieira na região de Vacaria**, RS. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014a. 29 p. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, 89). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/988100>. Acesso em: 17 jul. 2024.

NACHTIGALL, G. R. **Uso de tensiômetros para o manejo da irrigação em macieira**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, mar. 2025. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, nº 137). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1174532/1/Doc-137-online-2025.pdf>. Acesso em 19 de maio 2025.

NACHTIGALL, G. R.; CARGNINO, C.; NAVA, G. Efeito da irrigação e fertirrigação na produtividade e qualidade de macieiras Royal Gala. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30., 2012, Maceió, AL. **Anais [...]**. Maceió: SBCS, 2012. CD-ROM. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/949267>. Acesso em: 17 jul. 2024.

NACHTIGALL, G. R.; FIORAVANÇO, J. C.; HOFFMANN, A. Macieira. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (ed.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 449-464. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/575085>. Acesso em: 17 jul. 2024.

NACHTIGALL, G. R.; HAWERROTH, F. J. **Condições meteorológicas na fase vegetativa da macieira nos Campos de Cima da Serra do RS: safras 2017/2018 a 2021/2022**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2023. 36 p. il., color. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 227). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1151139>. Acesso em: 17 jul. 2024.

NACHTIGALL, G. R.; NAVA, G.; BRANCO, M. S. C.; LIMA, C. M. de. Viabilidade da fertirrigação em pomares de macieira no Sul do Brasil. **Agropecuária Catarinense**, v. 27, n. 2, sup., jul. 2014b. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/998483>. Acesso em: 17 jul. 2024.

NACHTIGALL, G. R.; TONET, D. **IRRIFERT**. BR n. PI 512025000049-9, 20 out. 2023, 14 jan. 2025. Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

NEILSEN, D.; NEILSEN, G. H.; HERBERT, L.; GUAK, S. Effect of irrigation and crop load management on

fruit nutrition and quality for Ambrosia/M.9 apple. **Acta Horticulturae**, v. 868, p. 63-72, 2010. DOI: 10.17660/actahortic.2010.868.4.

NEILSEN, G. H.; NEILSEN, D.; PEREIRA, F. Response of soil and irrigated fruit trees to fertigation or broadcast application of nitrogen, phosphorus and potassium. **HortTechnology**, v. 9, n. 3, p. 393-401, Jan. 1999. DOI: 10.21273/HORTTECH.9.3.393.

ROBINSON, T. L.; LAKSO, A. N.; LORDAN, J.; FRANCESCOTTO, P.; DRAGONI, D.; DEGAETANO, A. T.; EGGLESTON, K. Precision irrigation management of apple with an apple-specific Penman-Monteith model. **Acta Horticulturae**, v. 1150, p. 245-250, 2017. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1150.34.

ROBINSON, T.; STILES, W. Fertigation of apple trees in humid climates. **New York Fruit Quarterly**, v.12, n. 1, p. 32-38, 2004.

SHATKOVSKIY, A.; VASIUTA, V.; ZHURAVLEV, O.; MELNYCHUK, F.; KOCHIERU, M.; KOCHIERU, Y.; SHATKOVSKA, K. Dependence of apple productivity and fruit quality on the method of drip irrigation terms appointment. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 109, n. 3, p. 277-282, 2022. DOI: 10.13080/z-a.2022.109.035.

SMAJSTRLA, A. G.; PITTS, D. J. **Tensiometer service, testing and calibration**. Gainesville: University of Florida, April 1997. 5 p. (Bulletin, 319).

SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E. F.; VIANA, F. M. P.; SILVA, P. H. S. da. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no meio-norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 1999. 68 p. (Embrapa Meio Norte. Circular Técnica, 21). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/56428>. Acesso em: 17 jul. 2024.

SVOBODA, P.; HABERLE, J.; MOULIK, M.; RAIMANOVÁ, I.; KUREŠOVÁ, G.; MÉSZÁROS, M. The Effect of Drip Irrigation on the Length and Distribution of Apple Tree Roots. **Horticulturae**, v. 9, n. 3, p. 405, Feb. 2023. DOI: 10.3390/horticulturae9030405.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TSUKADA, K.; SEBATA, M.; MIYAHARA, Y.; MIYAGI, H. Long-life multiple-ISFETs with polymeric gates. **SensOrs and Actuators**, v.18, n. 3-4, p. 329-336, July 1989. DOI: 10.1016/0250-6874(89)87039-8.

